

Tomi Saarela

SORMILIITOSTEN TYÖSTÖRADAT

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Toukokuu 2013**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieskan yksikkö	Aika 15.4.2013	Tekijä/tekijät Tomi Saarela
Koulutusohjelma Tuotantotalouden koulutusohjelma		
Työn nimi Sormiliitosten työstöradat		
Työn ohjaaja Pauliina Mattila, Raine Kerttula		Sivumäärä 32+25
Työelämäohjaaja Tuomo Poutanen		
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Tuomo Poutaselle, joka on kehittänyt nyt hyvin yleisesti kattorakenteissa käytössä olevan naulalevyliitosmenetelmän. Tälle naulalevyliitokselle Poutanen on kehittänyt jo useamman vuoden ajan korvaavaa liitosmenetelmää. Tavoitteena on ollut korvata nykyisin käytössä oleva naulalevytekniikalla valmistettu liitos, lujuusominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään paremmalla sormiliitoksella.</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli sormiliitoksen työstöratojen kehittäminen ja optimointi, erilaisten liitoksien keksiminen sekä valmistaan mallikappaleita. Työstöradoissa tavoitteena on saada sormiliitoksen valmistuksessa syntyvä rako mahdollisimman pieneksi. Liitosten suunnittelussa ja työstöratojen luonnissa käytettiin apuna useita erilaisia kolmiulotteiseen mallinnukseen tarkoitettuja ohjelmistoja.</p> <p>Tulokseksi saatiin erilaisia liitosmalleja, työstörataa optimoitiin ja selkeytettiin ongelmia työstössä. Liitoksessa on vielä testattavaa ja kokeiltavaa, varsinkin jos sitä käytetään kantavissa rakenteissa, muutoin liitostapa vaikuttaa hyvin lupaavalta.</p>		

Asiasanat

rakennuspuutavara, yläpohjat, liitokset, kattotuolit

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date 15 May 2013	Author Tomi Saarela
Degree programme Industrial Management and Engineering		
Name of thesis Toolpaths in a finger joint		
Instructor Pauliina Mattila, Raine Kerttula		Pages 32+25
Supervisor Tuomo Poutanen		
<p>This thesis was commissioned by Tuomo Poutanen, who developed nail-plate method which is nowadays widely used in roof structures. For several years Poutanen has been developing a substitutive method of joining for this nail plate method.</p> <p>The aim has been to replace the joint made by using current use of the nail plate method by finger joints that would be stronger and would look better. The subject of this thesis was to develop and optimize the toolpaths of the finger joint to come up with a variety of joints as well as to make prototypes. The objective was to minimize the gap that there is in a finger joint. In the design of the joints a variety of three-dimensional modeling software was utilized, depending on which one would be the most suitable for the purpose. In toolpath creation and experiment the same modeling software was used, as well as Alphacam software, with which the final program to the machine tool for machining was made.</p> <p>The result was a variety of models for jointing. In addition, the toolpath was optimized and the problems occurred in machining were clarified. This joint is yet to be tested, especially if it is going to be used for load-bearing structures. Otherwise the method of jointing seems very promising.</p>		

Key words

construction timber, roofs, joints, rafters

KÄSITTEET

CAD	Tietokoneavusteinen piirtäminen/suunnittelu (engl. Computer Aided Design).
CAM	Tietokoneavusteinen valmistus (engl. Computer Aided Manufacturing).
Jigi	Kappale tai laite, jolla helpotetaan työstettävän aihion kiinnittämistä työstökoneeseen.
NC	Numeerinen ohjaus tarkoittaa työstökoneen käyttöä jonkin sovitun koodin mukaisilla komennoilla. Ohjauselektroniikka muuttaa komennot servomoottoreiden liikkeiksi (engl. Numerical Control).
CNC	Tietokoneistettu numeerinen ohjaus. (engl. Computerized Numerical Control). Molempia termejä NC ja CNC käytetään nykyisin samasta asiasta.
Aliohjelma	Vakio-ohjelma, jota kutsutaan pääohjelmassa.
Makro	Aliohjelman kaltainen ohjelma, joka sisältää muuttujia.
Splini	Pisteiden avulla muodostettu pehmeä kaari. (engl. Spline).
Simulointi	Todellisen työstötapahduman jäljittämistä tietokoneen avulla.
Projisointi	Kuvion heijastaminen kohtisuoraan pinnalle.
STL-tiedosto	Kolmioista muodostuva kolmiulotteinen pintamalli.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEET**

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 PUISET KATTORAKENTEET	2
2.1 Sormiliitos	2
2.1 Käytössä olevia liitoksia	3
2.3 Liimaristikko	7
3 NC-OHJELMOINTI	9
3.1 Käsiohjelmointi	9
3.2 Parametriohjelmointi	10
3.3 Hyödyt	10
3.4 Haitat	11
4 CAM-OHJELMOINTI	12
4.1 Perusteet	12
4.2 Hyödyt	13
4.3 Haitat	14
5 LIITOSMALLIEN SUUNNITTELU	15
5.1 T-liitoksia	15
5.2 K-liitoksia	16
5.3 L-liitoksia	17
6 SORMILIITOKSEN TYÖSTÖRATA	18
6.1 Ongelma	18
6.2 Ratkaisun etsintää	18
6.3 Työstöjen kokeilua	20
6.4 Työstöradan poikkileikkaus kuvat	23
6.5 Terän kuluminen	28
7 MALLI KAPPALEIDEN VALMISTUS	30
8 YHTEENVETO JA POHDINNAT	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Suomessa käytetään ja on käytetty paljon puuta monissa eri muodoissa. Vaikka Suomessa on pitkät perinteet puurakentamisessa, uusia ideoita ja keksintöjä alalle tulee varsin verkkaiseen tahtiin. Tekniikan kehitys puuteollisuuden alalla on hitaampaa kuin muussa teollisuuden, esimerkiksi metalliteollisuudessa. Tekniikan keksinnöt ikään kuin valuvat hitaasti muualta puuteollisuuden käyttöön. Kaikesta teknisestä kehityksestä huolimatta tekniikan käyttö puuteollisuudessa on keskittynyt pääasiassa vanhan tekniikan korvaamiseen. On muutamia toimijoita jotka ovat kehityksen mukana, mutta tällaiset yritykset ovat harvassa. Uuden tekniikan käyttö uusien keksintöjen teossa on vähäistä. Tekniikan tuomia mahdollisuuksia, uusia ideoita ja keksintöjä pitäisi osata ottaa käyttöön, jos Suomi aikoo pysyä puurakentamisen ja puutuotteiden valmistajana tulevaisuudessakin. Useissa muissa EU- maissa puun käyttö rakentamisessa on huomattavasti pidemmällä kuin Suomessa.

Tuomo Puotanen on kehittänyt kattoristikoiden liitoksia jo vuosikymmenten ajan. Vuonna 1979 hän kehitti mm. hammastetun naulalevyn. Jo muutamien vuosien ajan Puotanen on kehitellyt sormiliitostekniikkaa, jolla voitaisiin korvata nykyisin käytössä oleva naulalevytekniikalla toteutettu kattoristikko. Sormiliitoksen paremmuus naulalevytekniikalla valmistettuun kattoristikoon on visuaalisessa ilmeessä, metalliosien uupumisessa, halvemmassa hinnassa sekä momenttijäykkyydessä. Aiheesta on tehty useita opinnäytetöitä, joista saatua tietoa on käytetty pohjana myös tämän opinnäytetyön teossa.

Tämän opinnäytetyö tavoitteena on saada tehtyä erilaisia liitosvaihtoehtoja, ratkaista liitoksen työstössä olevat ongelmat sekä tehdä liitoksista mallikappaleita.

2 PUISET KATTORAKENTEET

Ihminen on käyttänyt puuta majoitustensa rakennusaineena jo ihmiskunnan sivistyksen alkuaajoista lähtien. Ensimmäisissä majoissa käytettiin pajuja, jotka taivutettiin kaarevaksi katoksi. Yli 1000 vuotta sitten Kiinassa kehitettiin pitkälle kehittynyt moduulijatteluun perustuva puurakennusjärjestelmä. Kun matematiikka ja varsinkin geometria kehittyi, syntyi kyky rakentaa systemaattisia ja ennustettavasti käyttäytyviä kattorakenteita. Tältä ajalta selkein ja ymmärrettävin rakenne on kolmioon perustuva kattorakenne.

1700-luvulla teräksen valmistuksen myötä kehittyi lujuusopilliset rakennemallit ja rakenteita voitiin tehdä pienemmillä dimensioilla. Sahaustekniikan kehittyessä voitiin tehdä uudentyyppejä ja ristikko- ja rankarakennemalleja. Uusista perusmuodoista yleinen on ruotsalainen kattotuoli, joka on kehitetty keskiaikaisesta kattotuolistä. Ruotsalaisessa kattotuolissa on rakenteen keskiosa jätetty vapaaksi, jolloin kattotuolin sisään voidaan tehdä lisää asuin tilaa.

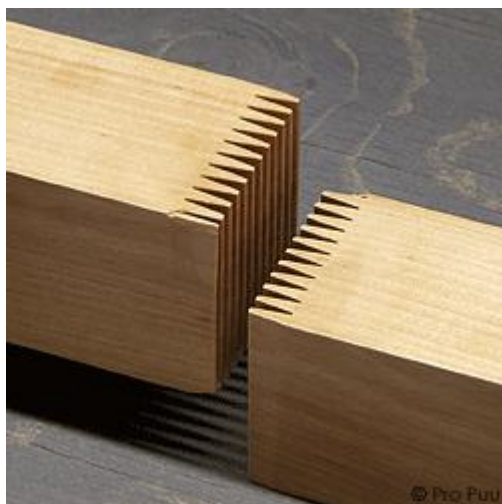
Uudella rakennustekniikalla voitiin rakentaa yhä pidempiä jännevälejä. Rakenteet muodostuivat yhä useammista osista, ja kokoaminen muodostui työläämmäksi. Materiaalin kulutus toisaalta pieneni.

Naulaamalla toisiinsa kiinnitetyistä puusauvoista kootut itsekantavat ristikot yleistyivät 1900-luvun alussa ja varsinainen laajempi käyttö Suomessa alkoi 1950-luvulla. Nykyään työmailla ei enää naulata kattoristikoita, vaan naulaamisen on korvannut naulalevy. Niiden avulla ristikot kootaan tehtaissa, jolloin kattoristikoista saadaan mittatarkkoja ja kestäviä.

2.1 Sormiliitos

Sormiliitos on liitostapa, jossa kiilamaiset sormet kiinnitetään toisiinsa liiman ja puristuspaineen avulla. Sormiliitosta on käytetty jo useiden vuosien ajan rakennesahatavaran valmistuksessa, sekä huonekalu- ja puusepänteollisuudessa. Puusepänteollisuudessa sormijatkamisella pyritään saavuttamaan kalliiden raaka-aineiden tarkempi käyttö sekä laadultaan ja ulkonäöltään parempia tuotteita. Rakennesahatavaran

valmistuksessa sormiliitoksella on tarkoitus saavuttaa parempi lujuus, sekä vähentää hukan määrää. Liitoksen periaate on sama, valmistettiinpa huonekaluja tai rakennesahatavaraa. Erot ovat sormen pituudessa ja paksuudessa, sillä huonekaluissa käytetään yleensä kooltaan pienempiä liitoksia.



KUVIO 1. Sormijatkoliitos (Pro Puu ry)

Rakennesahatavaran jatkaminen on standardoitua. Standardeissa määritellään millainen liitos on oltava, millaista liimaa on käytettävä, valmistusmääriä koskevat minimivaatimukset sekä millaisia tarkastustoimenpiteitä pitää tehdä. Sormijatkettua rakennesahatavaran valmistusta ohjaavat standardit SFS-EN 385, EN 301, SFS-EN 14081-1, SFS-EN 14081-2, SFS-EN 14081-3, SFS-EN 14081-4, SFS-EN 408 ja SFS 5878 INSTA 142.

2.1 Käytössä olevia liitoksia

Suomessa pientalorakentamisessa käytettävät kattoristikot ovat pääasiassa tehdasvalmisteisia naulalevyristikoita eli NR-ristikoiita. Kattoristikot tehdään kohdekohtaisesti naulalevyistä ja mitallistetusta, höylätystä lujuuslajitellusta puutavarasta.

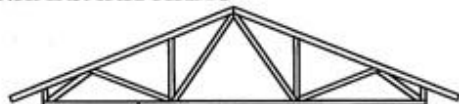
NR-rakenteet valmistetaan kyseiseen tuotantoon erikoistuneissa tehtaissa ulkopuolisen laadunvalvonnan alaisena. Inspecta Sertifiointi Oy ja VTT toimivat Ympäristöministeriön hyväksyminä naulalevyrakenteiden laaduntarkastuslaitoksina. Naulalevyrakenteet

merkitään NR-laatuleimalla, jossa on esitetty laaduntarkastuslaitoksen myöntämä tehtaan NR-tunnus, rakennepiirustuksen numero, valmistusviikko ja -vuosi em. järjestyksessä, esimerkiksi: NR01 234 10 07 (Naulalevyrakenteiden asennus- ja tuentaohje 2008).

Aikaisemmin kattoristikot sai tilattua vain jälleenmyyjiltä, mutta nykyisin asiakas voi ottaa yhteyttä suoraan tehtaalte ja tilata haluamansa ristikon. Joidenkin valmistajien internetsivuilta löytyy valmiita ristikkomalleja, joihin asiakas laittaa haluamansa mitat. Käytössä olevia naulalevyristikkotyyppejä ovat vakioristikko, saksiristikko, pulpettiristikko, käyttöullakkoristikot ja kehät (Puutalon runkotyöt 2006).

Naulalevyristikot eivät ole kovinkaan esteettisiä, ja rakenteesta johtuen ne soveltuvat parhaiten alle 20 metrin jännevälille. Nykyään asiakkaat haluavat avoimempia, näyttävämpiä ja suurempia tiloja, mikä on tuonut uusia haasteita kantaville rakenteille. Kysyntään on pyritty vastaamaan LVL:n eli suomessa paremmin tunnetun kertopuun ja liimapuupalkkien avulla. Näitä käytetäänkin nykyään paljon isoissa rakennuksissa, mutta pientalorakentamisessa ne ovat vielä melko harvinaisia.

1.HARJARISTIKKO



2.KÄYTTÖULLAKKORISTIKKO



3.SAKSIRISTIKKO



4.T-SAKSIRISTIKKO



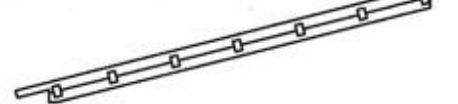
5.PUOLISAKSIRISTIKKO



6.PULPETTIRISTIKKO



7.VAARNAPALKKI



8.KEHÄRISTIKKO



KUVIO 2. Kattoristikkomallit. (Heinolan Puurakenne Oy)

Suomesta löytyy A-kapula-niminen yritys joka tekee kattoristikkoita joissa naulalevy on korvattu vanerilla (KUVIO 3). Tämän liitoksen on kehittänyt Arvo Hyvärinen 1970-luvulla.

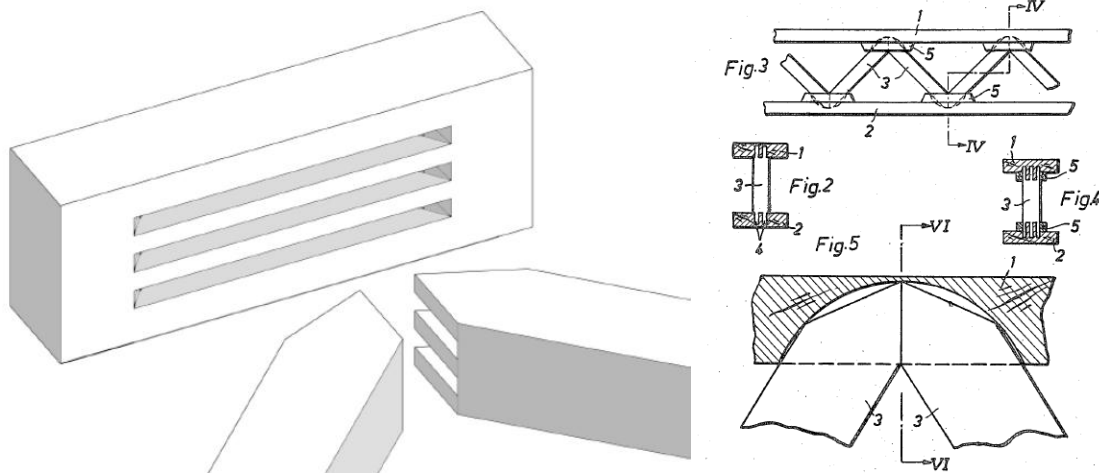


KUVIO 3. Vaneriliitos. (Poutanen 2013)

Saksassa on jo kuusikymmentä vuotta sitten kehitetty liitosratkaisu, DSB, ja sen vielä tänäkin päivänä käytössä.

Palkit valmistetaan rakennusyksiköistä, jolloin niiden valmistaja ei välttämättä tiedä millaiseen käyttötarkoitukseen palkit tulevat. Käyttötarkoituksista riippuen mikä tahansa tuista voi joutua tukemaan tai liittämään rakennetta, joten yksittäiseen tukeen voi kohdistua vetoa tai puristusta. Tällaiset kannattimet on aikaisemmin valmistettu naulaamalla tai ruuvaamalla poikkituet vaakatuon sivuun, pokkituen veto- tai puristusvoima välittyy vaakatukeen pelkästään naulojen tai ruuvien halkaisuvoimana. Joskus poikkituet kiinnitetään ala- ja ylätuon väliin, tällä saadaan hoidettua puristusvoima, mutta vetovoimaa varten tarvitsee tuet kiinnittää toisiinsa nauloilla tai ruuveilla. (Hanns Hess. 1951.)

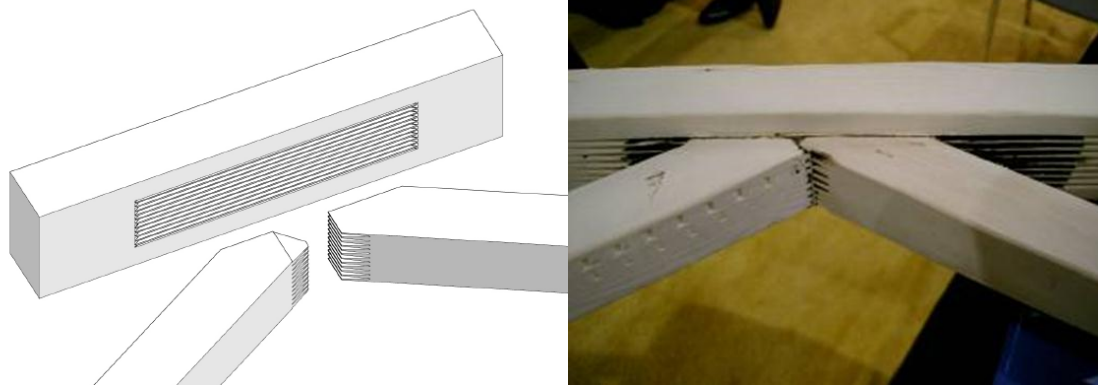
Keksinnön idea on ei-metallinen kannatin, joka on rakennettu ylä- ja alajänteistä tai tuista, ja liittää ne toisiinsa välttämällä kiinnitystä, jossa liittäminen perustuu halkaisuvoimaan, jolloin on mahdollista merkittävästi vähentää liitosalueella tapahtuvaa loveamista ja saada jänteistä kevyt rakenteisempia. (Hanns Hess. 1951.)



KUVIO 4. DSB. (Poutanen 2013)

Kanadassa 1990 patentoitu Open joist- liitos on hyvin lähellä Poutasen kehittämää liitosta. Liitoksen perustarkoitus on ollut rakentaa puuristikoista, ristikkopalkeista tai liitoksista mahdollisimman kevyitä, samalla kun maksimoidaan niiden kantokyky. Jotta päästäisiin näin optimaaliseen tilanteeseen, on pystyttävä toteuttamaan useita erilaisia vaatimuksia yhtä aikaa, jotka eivät välttämättä ole yhteensopivia toistensa kanssa. Esimerkiksi, jotta voidaan siirtää suuria jännitysvoimia paarten ja tukien välillä, on välttämätöntä lisätä liimapinta-alaa tukien päissä ja uransyvennyksissä mahdollisimman paljon. Toisaalta, jotta voidaan siirtää suuria sivuttaisvoimia kohtisuoraan palkin pituussuuntaan nähden, on tarpeen tehdä kunkin tuen tapin poikkipinta-alasta mahdollisimman suuri. Mutta tukien koon kasvattamisesta aiheutuu se että joudutaan tekemään suurempia koloja palkkiin, jotka vastavuoroisesti heikentävät sitä. (Lemyre Rene Paul. 1990.)

Open joist- liitoksen huonoina puolina ovat sen rikkoutumisherkkyys ylimääräisissä työstöurissa liitoksen molemmiin puolin. Ulkonäön takia liitosta ei ole tehty jätettäväksi näkyville (KUVIO 5). Liitos on hyvin yleisesti käytössä USA:ssa ja Kanadassa.



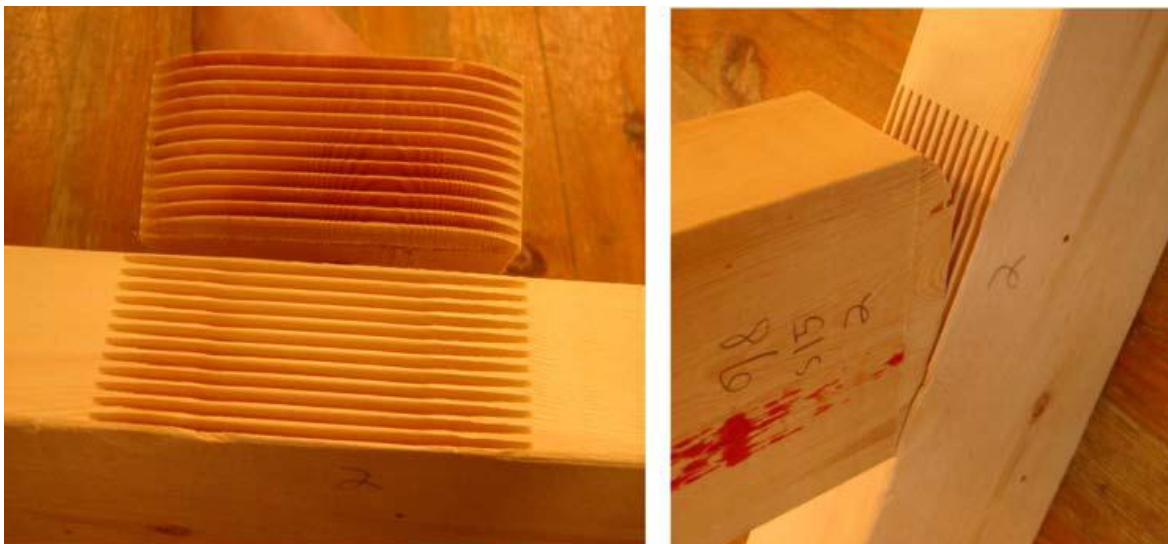
KUVIO 5. Open joist – liitos (Poutanen 2013)

2.3 Liimaristikko

Sormiliitosta on käytetty jo kauan rakennesahatavaran jatkamisessa. Kulmasormiliitostakin on käytetty jonkin verran 3-nivelliimapuukehien nurkkaliitoksissa. Näiden aikaisempien kulmasormiliitosten valmistus on ollut kuitenkin kallista ja puuta tuhlaavaa, minkä johdosta nämä liitokset eivät ole yleistyneet. Vastikään on kehitetty yleispätevä sormiliitos KUVIO 6), joka antaa mahdollisuuden käyttää tätä liitosta kaikissa kulmaliitoksissa kuten T, L, K ja E-liitoksissa. (Poutanen 2009.)

Kehitetty liitos avaa uusia mahdollisuuksia rakenteiden suunnitteluun, sillä ne soveltuvat mm. ohuiden sekä paksujen puukappaleiden liittämiseen. Liitos ei näy ulospäin, joten sitä voidaan käyttää paikoissa joissa puuosat jäävät näkyville. On lisäksi huomattava että, sormiliitos on aina muuta puuta kestävämpää.

Liimaristikko on monessa suhteessa parempi kuin vastaava naulalevyristikko. Liimaliitos on momenttijäykkä ja se antaa mahdollisuuden tehdä monia sellaisia ristikoita ja kehiä, jotka aikaisemmin eivät ole olleet mahdollisia lainkaan. Liimakustannus on tavallisessa ristikossa noin 90 % pienempi kuin naulalevykustannus, eli liimaristikko on tämän syyn vuoksi 10 % edullisempi, kuin naulalevyristikko. Liimaliitos on jäykempi ja liitossiirtymä on olematon, joten liimaristikon taipuma on tämän syyn johdosta noin 20 % pienempi. Sormiliitosristikko on ekologinen, sillä siinä ei ole lainkaan metallia ja se kuluttaa vähän luonnonvaroja. (Poutanen 2009.)



KUVIO 6. T-liitos (Poutanen 2009)

3 NC-OHJELMOINTI

NC-ohjelmointi perustuu numeerisen ohjauksen käyttöön. Tällöin koneistaja syöttää arvoja työstökoneelle, joka muuttaa arvot työstökoneen liikkeiksi. Numeerisesti ohjattuja koneita ei pidä sekoittaa numeerisella näytöllä varustettuihin manuaalisiin koneisiin, joita vielä on käytössä. Niissä on luisteille asennettu digitaalinen matkanmittausjärjestelmä, joka mittaa luistin kulloisenkin aseman ja näyttää sen numeroina näytöllä. Manuaaliset koneet eivät kuitenkaan kykene tekemään liikkeitään automaattisesti, vaan koneistaja siirtää luisteja kampien avulla. (Pikkarainen 1999.)

NC-ohjelma muodostuu käskyistä, jotka kuvaavat koneen toimintoja. Näiden käskyjen mukaan NC-kone suorittaa työstötehtävänsä. Ohjelmointi on siis työpiirustusten tietojen muuntamista NC-koneen ymmärtämään koodikieliseen muotoon. (Keinänen & Kärkkäinen 1999.)

Erilaisia ohjelmointitapoja on muitakin kuin käsi- ja tietokoneavusteinen ohjelmointi. Karkeaa yleistystä käyttäen nämä ovat kuitenkin kaksi nykyisin yleisimmin käytössä olevaa menetelmää. Muut ohjelmointitavat ovat sulautuneet tietokoneavusteiseen ohjelmointiin.

NC-ohjelma muodostuu pääohjelmasta ja aliohjelmista tai makroista. Mikäli työstettävässä kappaleessa toistuu samanlaisia työvaiheita tai muotoja, voidaan ohjelmoinnissa käyttää apuna aliohjelmaa. Aliohjelmat voidaan sijoittaa työstökoneen muistiin ja kutsua pääohjelmassa. Makrot poikkeavat aliohjelmista muuttujien käytön perusteella. Numeerisen ohjauksen ohjelmointi perustuu pääasiallisesti G-koodeihin, sillä niillä ohjataan numeerisen työstökoneen erilaisia liikkeitä, liikeratoja, ja työkiertoja. Ohjelmarivien aloituksissa käytetään G-koodien lisäksi myös M-koodeja, joilla ohjataan yleensä työstökoneen erilaisia toimintoja.

3.1 Käsiohjelmointi

Käsi- tai manuaaliohjelmoinnissa ohjelmoija laatii suoraan sellaisen ohjelmakoodin, jota työstökoneen ohjauslaite pystyy lukemaan. Tämä tapa tehdä ohjelmaa oli aikaisemmin vallitseva, mutta koneistettavien kappaleiden tullessa monimutkaisemmiksi, laaditut ohjelmat tulivat vaikeiksi tarkastaa ja virhemahdollisuudet kasvoivat. Pienehköissä yksinkertaisissa kappaleissa tapa on joustava ja kaikki ohjauksen sisältämät mahdollisuudet voidaan käyttää hyväksi. (Keinänen & Kärkkäinen 1999).

3.2 Parametriohjelmointi

Parametrisella ohjelmoinnilla tarkoitetaan NC-ohjelmointia, jossa tietyt arvot tai mitat korvataan parametreilla eli muuttujilla. Parametrinen ohjelmointi tehdään yleensä käsin ohjelmoimalla. Parametrinen ohjelmointi voidaan jakaa kolmeen alueeseen: matemaattisten funktioiden ja lausekkeiden laskemiseen, ohitettuihin käskyihin ja työjaksoihin sekä parametrien siirtämiseen ohjelmointikoodiin.

Parametriojelma on vaativa tehdä, mutta oikeassa työssä se nopeuttaa ja helpottaa erikokoisten kappaleiden työstöä. Monissa puuvia valmistavissa yrityksissä ovet valmistetaan asiakkaan haluamalla mitoilla, jotta jokaisen asiakkaan ovesta ei tarvitsisi tehdä omaa työstöohjelmaa, käytetään parametrisiä työstöohjelmia työstökeskuksen ohjaamiseen. Valmiiseen ohjelmaan annetaan asiakkaan haluamat mitat ja niiden avulla työstöarvot muuttuvat. Esimerkiksi kun oven korkeus ylittää asetetun mitan, lisätään oveen kolmas sarana. Myöskin erilaiset pintakuvioinnit voidaan saada aikaiseksi aliohjelmillä tai makroilla, jotka kutsutaan esimerkiksi vaihtamalla yksittäinen numero toiseen.

3.3 Hyödyt

Verrattuna aikaisempiin tuotantomenetelmiin, kuten käsikäyttöisiin tai nokka- ja käyräohjattuihin koneisiin, numeerinen ohjaus tuo varsin paljon erilaisia etuja. Säästöjä saadaan palkkakustannuksissa siksi, että asetus- ja koneistusajat ovat lyhyemmät, laadun tarkkailu voidaan tehdä analysoimalla vain häiriötekijöitä, ja koneen toimiessa automaattisesti koneistaja voi suorittaa muita tehtäviä. Työkalukustannukset pienenevät

kun samalla työkalulla voidaan koneistaa useita muotoja. Läpimenoajat lyhenevät ja tuotannon joustavuus paranee. (Pikkarainen 1999.)

3.4 Haitat

Käsi­käyt­ttöisiin koneisiin verrattuna numeerisesti ohjatut koneet ovat huomattavasti kalliimpia, joskin niiden hinta ominaisuuksiin verrattuna laskee jatkuvasti. Koneenkäyttäjänä työskentelevä oppii vuosien myötä koneen ominaisuudet niin hyvin, että hänen poislähdettyään tuntuu, kuin kukaan ei osaisi käyttää konetta tehokkaasti. Lisäksi numeerisesti ohjatut koneet ovat rakenteeltaan monimutkaisempia kuin tavalliset koneet. Mekaanisten osien lisäksi mukaan ovat tulleet tarkkuusosat ja elektroniikka. Huollot ja korjaukset ovat vaikeita, eikä oma henkilökunta niitä useinkaan kykene suorittamaan. (Pikkarainen 1999.)

4 CAM-OHJELMOINTI

CAM-tekniikalla tarkoitetaan tietokoneella suunnitellun ja piirretyn (CAD) kappaleen muotojen muuttamista NC-koneen ymmärtäviksi työstöradoiksi. Tietokone laskee työstöradat ja tulostaa tarvittaessa ohjelmalistauksen. Ennen CAM-tekniikkaa NC-ohjelmat tehtiin rivi riviltä käsin näppäillen, joko NC-koneen ohjauksella tai PC:llä. CAM-tekniikka mahdollistaa vaikeiden muotojen koneistuksen, joiden tarkkuus voi olla jopa 0,001 mm. Vaikka CAM-tekniikka tavallaan helpottaa NC-ohjelmointia, on silti välttämätöntä, että ohjelmoija hallitsee myös perinteisen NC-ohjelmoinnin. Hänen tulee ymmärtää mitä koneella todella tapahtuu. (CNC palvelu KNOW-HOW.)

4.1 Perusteet

CAM-ohjelmointi aloitetaan geometrian luonnilla tai siirrolla. Nykyisin käytetään pääsääntöisesti tapoja joissa työstettävä kappale tai muoto saadaan jo olemassa olevasta 3D-mallista/CAD-kuvasta tai tarvittavat geometriat tehdään CAM-ohjelmassa. Aikaisemmin jouduttiin käyttämään erillisiä muunnosohjelmia, jotka muunsivat suunnittelutiedostot CAM-ohjelman tallennustapaa vastaavaksi. Nykyään tällaisia ohjelmia ei enää tarvitse, koska ohjelmistoissa on valmiina monta erilaista tallennustapaa sekä ne pystyvät aukaisemaan monia eri formaateissa olevia tiedostoja.

Kun tarvittava geometria on kuvattu, luodaan työkalut, joiden tarkkaa geometriatietoa tarvitaan simuloinnissa ja tietokoneen laskiessa työkalun ja kappaleen suhteellista asemaa. Työstöradat luodaan käyttäen apuna mahdollisimman paljon kappaleen geometriaa ja välttämällä käsin näppäimistöltä tehtävää tarkkaa tiedonsyöttämistä. Heti, kun työstörata on laadittu, se myös simuloidaan eli tarkastetaan ja korjataan. Luodut työstöradat yhdistetään kappaleen työvaiheistuksen mukaiseen järjestykseen yhdeksi ohjelmaksi. (Pikkarainen, Laurila, Pekkola, 1993).

Viimeinen ohjelmointivaihe on CAM-ohjelmiston ohjelman muuttaminen jonkin työstökoneen ymmärtämään muotoon. Tätä prosessia kutsutaan postprosessoinniksi. Tällöin geometriatiedostojen työstöradat muunnetaan työstökoneen ymmärtämään

muotoon, kuten G-koodeiksi. Postprosessoriksi kutsuttu erikoisohjelma lukee -tiedoston ja kirjoittaa vastaavan NC-koodin. Yleensä jokainen työstökone tai ohjaus vaatii oman postprosessorin, joka on tehty kunkin ohjauksen tai käyttäjän vaatimusten mukaisesti. Postprosessoreita ohjelmoivat tyypillisesti pienet ohjelmointiin erikoistuneet yritykset tai yksittäiset ohjelmoijat.

Postprosessorin kustannukset voivat joissain tapauksissa ylittää CAM-ohjelmiston hankintakustannukset. Tästä johtuen postprosessorien saatavuus ja hinta tulisi varmistaa, jos päätös CAM-ohjelmiston tai uuden työstökoneen hankinnasta on ajankohtainen.

Lopuksi CAM-ohjelma ja NC-koneen työstöohjelma tallennetaan. Riippuen käytössä olevista laitteista, voidaan työstöohjelma tallentaa levykkeelle, muistitikulle tai uusimmissa järjestelmissä jotka ovat yhteydessä verkkoon, johonkin valittuun kansioon.

4.2 Hyödyt

CAM-tekniikka tuo etuja työn helpottumisena, läpimenoajan lyhenemisenä ja uusien sovellusmahdollisuuksien myötä. Robotiikassa on käytössä OFF LINE CAM-ohjelmat, joilla robotille opetetaan liikeradat virtuaalimaailmassa. Robotti voi tällöin olla ohjelmoinnin aikana tuotannossa. (CNC palvelu KNOW-HOW.)

Vanhoja ohjelmia on helppo käsitellä ja muokata. Saman ohjelman käyttö eri työkoneissa on helppoa, sillä ohjelmalle suoritetaan vain uusi postprosessointi. Testiajoja itse koneella ei tarvitse tehdä, koska ohjelmat voidaan simuloida ja näin ollen välttää huonojen kappaleiden valmistus. Simuloinnissa nähdään myös työstöajat, joita voidaan käyttää hinnoittelussa ja koneen työajan suunnittelussa. Läpimenoajat lyhenevät, koska vaativien ohjelmien valmistaminen nopeutuu. Monimutkaisten muotojen, kuten matemaattiset käyrät ja kolmiulotteisten pintojen tekeminen helpottuu. Nykyisillä ohjelmistoilla tarkkuudet ovat erittäin hyviä, tämä on tärkeämpää metallin kuin puuntyöstössä.

4.3 Haitat

Ohjelmistojen kalliit hankinta ja päivityshinnat voivat olla este pienimuotoisessa valmistuksessa. Osaavissa käsissä ohjelmisto kuitenkin maksaa itsensä nopeasti takaisin. Työkiertojen riittämätön hyödyntäminen saattaa kasvattaa ohjelman pituutta kohtuuttomasti. Ohjelmoijalta vaaditaan CAM-ohjelmiston lisäksi kokemusta koneistuksesta, tietotekniikasta sekä vähintään hyvää englanninkielen taitoa. Vaikka monet ohjelmistot ja koneiden käyttöliittymät on saatavilla suomen kielellä, törmää englanninkielisiin sanoihin joka paikassa. Testi- ja piensarjoja paljon valmistavilla yrityksillä on monesti vaikeuksia CAM-ohjelman yhdensuuntaisuuden vuoksi. Kun ohjelma muutetaan koneen ymmärtämäksi kieleksi ja siihen tehdään työstökoneella pieniä muutoksia, ei näitä muutoksia saada enää takaisin CAM-ohjelmaan. Toisin sanoen postprosessointi toimii vain yhteen suuntaan, tietokoneelta työstökoneelle.

5 LIITOSMALLIEN SUUNNITTELU

Liitosten suunnittelu aloitettiin tutustumalla jo kehitettyihin liitoksiin. Muutamista on kerrottu jo aikaisemmin tässä työssä. Ensimmäiset hahmotelmat liitoksista tehtiin paperille luonnostelemalla, ja sen jälkeen aloitettiin tietokoneella suunnittelu. Liitosten suunnittelua tehtiin samaan aikaan, kun etsittiin ratkaisua liitoksessa esiintyneen työstöradan ongelmaan. Kaikki suunnitellut liitokset pohjautuvat tavalla tai toisella jo olemassa oleviin liitoksiin. Kappaleita mitoitettiin samaan kokoluokkaan kuin Poutaselta saaduissa piirustuksissa esiintyneet kappaleet.

5.1 T-liitoksia

T-liitoksissa liitosvaihtoehdot ovat vähäiset. Variaatiot rajoittuvat pääasiassa sormen pituuden, liitoksen muodon ja liitoksen syvyyden välille. Liitoksen syvyyden vaikutusta vetolujuuteen on testannut Martikainen omassa opinnäytetyössään. Liitoksen muoto voidaan tehdä puun sisälle tai siten, että se näkyy ulkopuolelle.



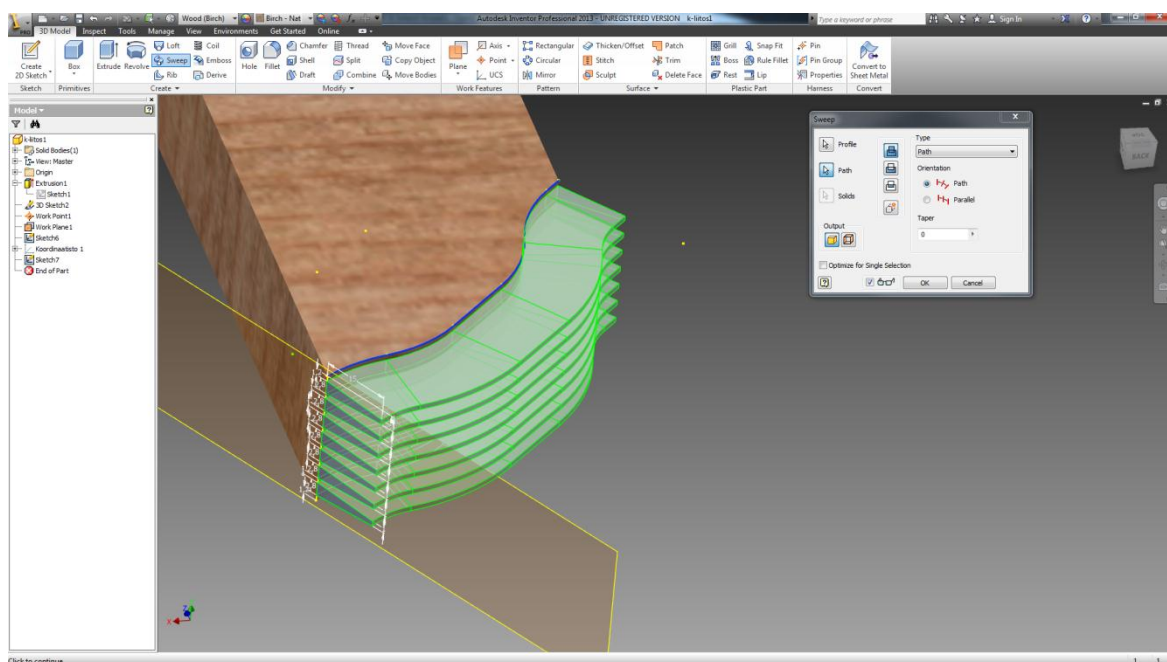
KUVIO 7. T-liitoksia (Veli-Pekka Martikainen 2006).

Kaikki aikaisemmat liitosmallit ovat symmetrisiä muodoltaan, joten ensimmäisen T-liitoksen ajatuksena oli tehdä liitos, joka ei olisi symmetrinen (LIITE 19, 20, 21). Käyttökohteita tällaiselle liitosmallille ajateltiin olevan kohteissa, joissa rasitus kohdistuu vaakapuun suuntaisesti poikkitukeen. Liitoksen tavoitteena olisi kestää rasitusta johonkin suuntaan enemmän kuin toiseen suuntaan.

5.2 K-liitoksia

Ensimmäisessä K-liitoksessa kaksi 45 asteen kulmassa kiinnittyvää poikkipuuta päätettiin jättää erilleen toisistaan. Liitoksen suunnittelussa käytettiin pohjana patentissa esiintynyttä liitosratkaisua (Poutanen US20080092988. Fig.11). Tällä saadaan se hyöty, ettei valmistusvaiheessa tarvitse tehdä kuin kahdenlaisia kappaleita ja että rakenteen viimeisen poikkituen naaraspontti on helppo valmistaa, (LIITE 4) ja (LIITE 6). Liitoksesta ei kuitenkaan tällöin tule yhtä luja kuin tapauksessa, jossa kaikki liitettävät kappaleet olisivat jokainen liimattuina toisiinsa, mutta liitos on valmistusteknisesti huomattavasti helpompi ja yksinkertaisempi toteuttaa.

Liitoksen suunnittelussa käytettiin apuna Autodesk Inventor-ohjelmistoa, sillä siinä on Solid Worksiin verrattuna monipuolisempi sweep- toiminto (KUVIO 8). Sweep-toiminnolla voidaan kuljettaa kaksiulotteista kuviota viivaa tai käyrää pitkin siten että kuvio leikkaa olemassa olevasta kolmiulotteisesta mallista kuvion ja käyrän muodostaman kuvion pois, tai vastavuoroisesti voidaan lisätä tai luoda kolmiulotteinen kappale. Solid Worksia kokeiltiin, mutta sen todettiin olevan liian vaikea käyttää, tai sitten tarvittava toimintoja ei ohjelmistossa ollut lainkaan. Sormien tekeminen osoittautui erittäin haastavaksi, tätä varten joutui ohjelmaan tekemään erillisiä käyttäjäkoordinaatistoja sekä kulmassa olevia tasoja joiden avulla sormen muoto saatiin oikeanlaiseksi. Oleelliseksi osoittautui sormen profiilin ja reitin aloituskulma, jonka täytyi olla 90 astetta. Ohjelmistojen mittausominaisuudet eivät kuitenkaan mahdollistaneet kulman mittaamista, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jäi oikean kulman kokeileminen.



KUVIO 8. Autodesk Inventor 2013 Professional- ohjelmisto

Osista tehtiin kokoonpano ja sen jälkeen työpiirustukset. Sormen, poikkitukien ja vaakapalkin mitat ovat vastaavat kuin Poutasen antamissa piirustuksissa (LIITE 4, LIITE 5).

Toisessa k-liitosmallissa liitos toteutettiin siten, että kaikki kolme osaa liittyvät toisiinsa (LIITE 10, 11, 12, 13, 14). Mallia otettiin Poutasen jo kehittämistä malleista, joita pyrittiin hieman muuntelemaan. Poikkituet upotettiin sormen tarvitseman 15 mm lisäksi 20 mm vaakapuuhun, jolloin liimapinta-ala liitoksessa kasvaa. Toista liitosmallia tehtäessä havaittiin että sormiliitoksesta saadaan tarkempi, kun aloitetaan sweep-toiminto kohdasta, joka on varmuudella 90 asteen kulmassa ohjauskäyrän kulkusuuntaan nähden.

5.3 L-liitoksia

Muunlaisia liitostarpeita varten suunniteltiin ensimmäiseksi 45 asteen kulmaliitos (LIITE 15, 16, 17, 18). Tässä liitoksessa kaksi kappaletta kiinnitetään toisiinsa nähden 45 asteen kulmassa, mitä varten kappaleen leveyttä kasvatettiin 60 mm:stä 120 mm:iin. Paksuus pysyi samana kuin aikaisemmissa malleissa 28 mm:ssä. Tällaisia liitoksia voidaan käyttää esimerkiksi kehäristikkoja tehtäessä.

6 SORMILIITOKSEN TYÖSTÖRATA

6.1 Ongelma

Sormiliitoksella tehtyjen liitoksien valmistusta vaikeuttaa sormien kartiokkuus. Esimerkiksi tavallisessa T-liitoksessa uroskappaleessa sormien paksuus pohjalla on sama koko liitoksen matkalla. Naaras kappaleessa sormen paksuus puolestaan kapenee terän sisäänmeno ja ulostulo kohdissa (LIITE 1 ja LIITE 2). Tavallisessa tappiliitoksessa, jossa sormet ovat suorina, ei esiinny tällaista ongelmaa. Sormiliitosta käytetään, koska kartion muotoisella sormella saadaan aikaiseksi suurempi liimapinta-ala kuin tappiliitoksessa. Lujuuden kannalta on sitä parempi, mitä paremmin liitoskappaleet sopivat toisiinsa.

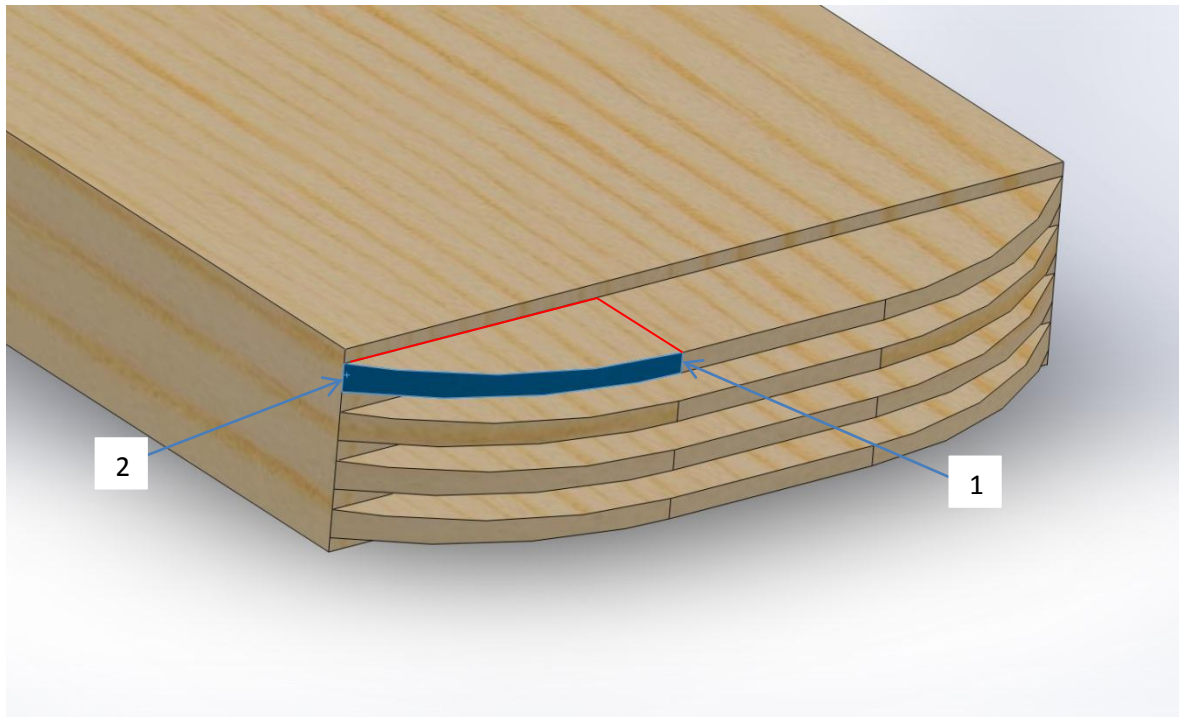
Aikaisemmissa aiheeseen liittyvissä opinnäytetöissä ongelma on ratkaistu tekemällä kaksi työstöliikettä tai tekemällä työstö kolmen akselin suunnassa. Yleispätevää ratkaisua ongelmaan ei kuitenkaan ole saatu kehitettyä. Tässä opinnäytetyössä olisi tarkoitus saada ongelmaan ratkaisu, jota voitaisiin käyttää kaiken tyyppisissä sormiliitoksissa.

6.2 Ratkaisun etsintää

Ongelma voidaan ratkaista leventämällä naaraspuoleisen kappaleen päitä, kaventaa urospuolisen kappaleen päitä tai tehdä molemmat toimenpiteet. Aikaisemmissa opinnäytetöissä on ohennettu uroskappaleen sormia. Ongelmaan tutustuttaessa päädyttiin samaan lopputulokseen kuin aikaisemmissa opinnäytetöissä, eli ohentamaan uroskappaleen sormia. Naaraspuoleisessa kappaleessa kaikki Z-suuntainen, eli ylös/alas -suuntainen työstöliike aiheuttaisi liian suuren uran muodostumisen. Uroskappaleessa terää voidaan ajaa ohi kappaleesta ja tehdä työstö pienemmällä alueella.

Ongelman ratkaisemiseksi työn eri vaiheissa apuna käytetään erilaisia 3D-mallinnusohjelmia, kuten Solidworks 2012, Autodesk Inventor 2013 ja Spaceclaim 2012. Kuviossa 9 on esitetty kavennettava alue kahden suorassa kulmassa olevan punaisen viivan sekä sinisen kaaren avulla. Kohdassa 1. sormen paksuus on 2,52 mm ja kaaren toisessa päässä, kohdassa 2, 3,48 mm. Paksuus tulisi olla koko sormenkärjen matkalta 2,52 mm,

jotta kappaleet sopisivat toisiinsa täydellisesti. Sormen pohjalla paksuus on suoralla osuudella 3,48 mm ja kapenee ohennettavalla alueella liitoksen päätyyn mentäessä 2,52 millimetriin. Tarkoitus on saada sormenpään paksuus pysymään koko matkalta 2,52 mm:ssä.



KUVIO 9. Sormiliitoksen kavennettava alue.

Ongelmaa tutkittaessa tulee selväksi, ettei liitettäviä kappaleita ole mahdollista saada sopimaan toisiinsa täydellisesti käyttämällä yhtä terää ja saavuttaa lyhyttä työstöaikaa. Täydellinen sopivuus vaatii useita erilaisia teriä ja monia erillisiä työstökertoja. Yksi liitoksen kriteereistä oli että liitos saataisiin valmistettua yhdellä työstökerralla. Tästä saadaan vain yksi johtopäätös, joko liitettäviin kappaleisiin jää ylimääräistä puuta tai vaihtoehtoisesti otetaan pois liikaa.

Rakennesahatavarassa materiaali on kuusta. Kuusi on melko pehmeää puuta, menee liitoksessa oleva vähäinen määrä ylimääräistä puuainesta läjään kun puristetaan kappaleet toisiinsa kiinni. Tällä hetkellä liitoksissa käytetään polyuretaanipohjaista liimaa, joka turpoaa kuivuessaan. Kun käytetään tämän tyyppistä liimaa, eivät pienet kolot ja raot liimattavissa kappaleissa haittaa.

6.3 Työstöjen kokeilua

Työstettävät kappaleet ovat muodoiltaan pitkiä ja kapeita. Aikaisemmissa opinnäytetöissä kappaleet oli kiinnitetty työkoneen pöytään alipaineella, mutta tämän muotoisia kappaleita on kuitenkin vaikea saada pysymään kiinni alipaineella varsinkin kun työstetään kappaleen päätyä. Heti alussa päätettiin tehdä kappaleelle jigi, jotta kappaleen kiinni pysyminen saadaan varmistettua. Jigi tehtiin useasta päällekkäin liimatusta vanerista, joka ristiin liimatun viilun ansiosta pysyy hyvin suorassa, ja jota on helppo muokata sekä johon on helppo kiinnittää tarvittavia lisälaitteita. Jigiin kiinnitettiin jigipuristimet joiden avulla aihoiden kiinnittäminen ja irroittaminen on helppoa sekä nopeaa. Työstettävät mallikappaleet tehdään mdf-levystä, joka on tasalaatuista ja jolloin ei ole ongelmaa halkeamisen tai oksien lohkeamisen kanssa.

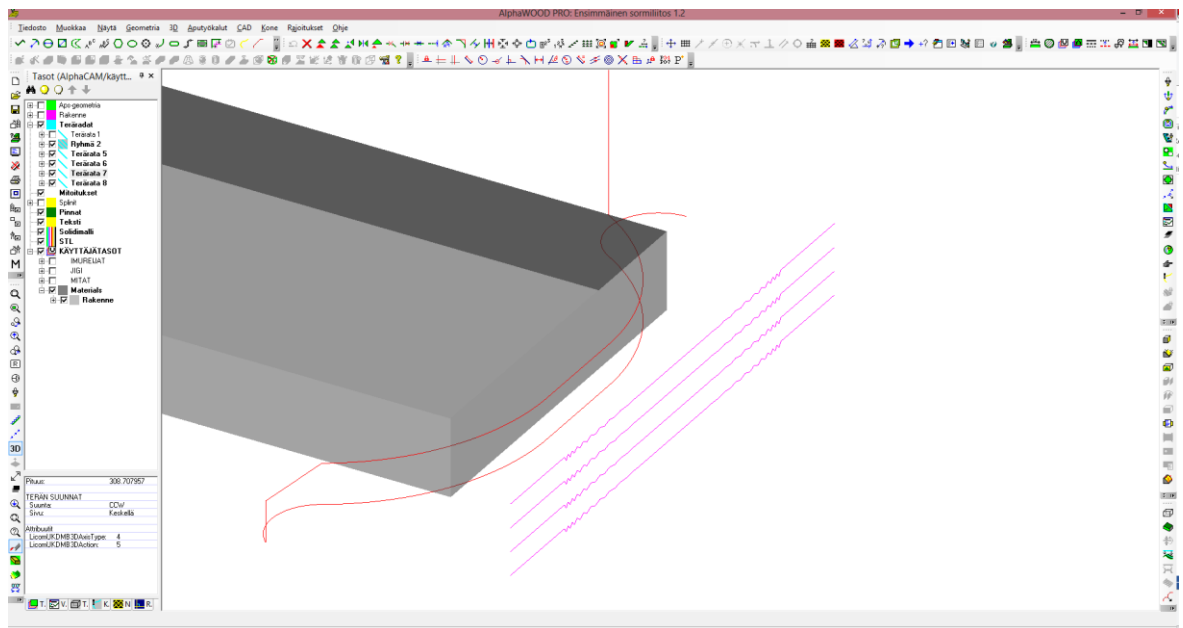
Poutaselta saatu, työstöissä käytettävä terä mallinnetaan käytettävään Alphacam-ohjelmistoon. Terä mitataan mahdollisimman tarkkoilla mitoilla, jolloin ohjelmassa tehtävät simuloinnit ovat mahdollisimman tarkkoja oikean työstön kanssa.

Terä ei ole tähän käyttötarkoitukseen optimaalinen, sillä se tekee vain yhden sormen uran kerrallaan. Työstöt olisivat huomattavasti helpompia toteuttaa, jos uria tulisi useampia yhdellä kertaa. Terän koko on myös suhteettoman suuri sekä halkaisijaltaan että paksuudeltaan. Tarvittava sormen pituus on 15 millimetriä, jolloin käytössä on vain puolet mahdollisesta työstösyvyydestä. Terän suuren halkaisijan (100 mm) vuoksi myös mallikappaleiden kokoa täytyy suurentaa. Täten pienin pyöristys, joka voidaan tehdä on R50.

Tätä työstömenetelmää on sovellettu aikaisemmissa liitoksissa. Tarkoituksena on saada tehtyä liitos, jota on jo käytetty onnistuneesti, sekä lisäksi yrittää parantaa työstöliikettä ja saada vertailuliitos tulevaisuutta varten. Liitosmalliksi otettiin helppo ja yksinkertainen T-liitos, jollaisen Matti Hintsala oli tehnyt omassa opinnäytetyössään (Hintsala Matti 2011). Aikaisemmissa töissä ei terän liikerataa ole kovin tarkasti esitetty, joten tehtiin useampia kokeiluita mallinnusohjelmilla jotta saadaan hyvä pohja mistä voidaan työstörataa lähteä parantamaan. Lopputuloksena päädyttiin tekemään työstöradat yksinkertaisuutensa vuoksi suoraan Alphacam-ohjelmistolla.

Työstörata tehtiin ensin viivoista, joilla saatiin aikaiseksi ylös/alas -liike. Koska viivoja ei pysty suoraan käyttämään työstöratana, muutettiin viivat spliniksi, jolloin voidaan käyttää ohjelmistossa olevaa splinin tai polylinin työstökomentoa. Tämän seurauksena viivojen terävät kulmat pyöristyvät ja näin työstö on huomattavasti helpompi työstökoneenkin kannalta.

Liitoksen tekemiseen tarvitsee käyttää kahta eri terää ja kolmea eri työstöä. Käytössä olleesta 2 terästä ja työn kokeellisuudesta johtuen eivät työstäradat ja ajokerrat olleet optimaalisia teollista tuotantoa ajatellen. Urosliitoksen tekemiseen tarvittiin yhteensä kuusi edestakaista ajokertaa (KUVIO 10), mutta paremmalla terällä tämän olisi saanut tehtyä kahdella ajokerralla. Yksi työstökerta jolla saadaan päädyn muoto ja toisella työstö kerralla sormiurat. Naarasliitoksen tekemiseen tarvittiin kolme erillistä työstöä, jokaiselle uralle oma työstö, kun taas oikealla terällä jossa on jokaiselle uralle oma työstävä terä, tarvitaan vain yksi työstökerta.



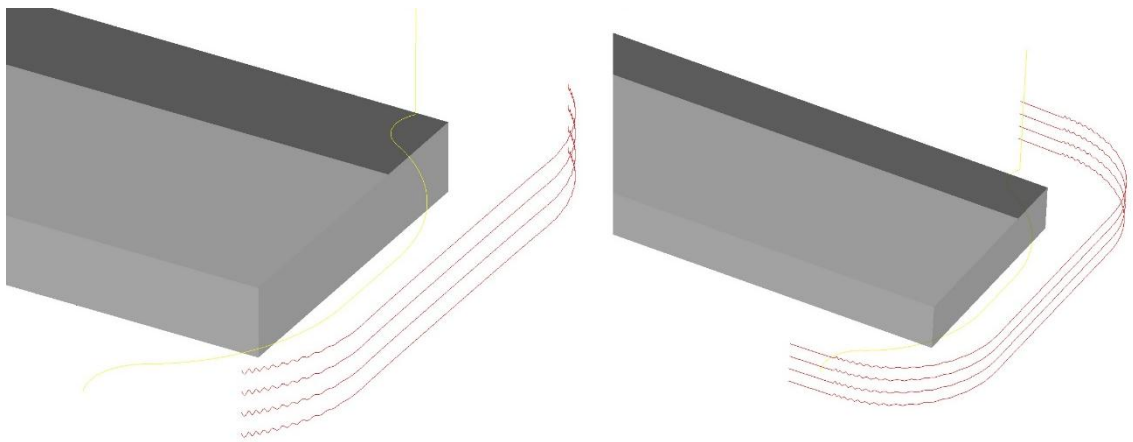
KUVIO 10. Alphacam- ohjelmisto

Liitoksen tekeminen tällä tavalla onnistui odotusten mukaan. Liitoksen simulointivaiheessa ennakoitiin, että sormenkärjestä ei tule koko matkalta tasapaksuinen. Sormen työstöliike on suoraviivainen y-akselin suunnassa, x-akselin suunnassa liikettä ei ole ollenkaan ja z-akselin suunnassa liikutaan vain kohdassa jossa tarvitsee tehdä sormenohennus. Työstö on

näin ollen 2-akselista työstöä. Sormiliitosterän neljä liikerataa on merkitty violetilla (KUVIO 10). Jos työstöä saataisiin muutettua siten, että sormenpää pysyisi tasapaksuisena, tulisi liitoksesta huomattavasti tiukempi.

Seuraavaksi kokeiltiin, onko vaikutusta jos suoran työstöradan sisään- ja ulostulot muutetaan kaareviksi. Kaarevan työstöradan (KUVIO 11) aikaansaamiseksi käytettiin apuna pintaa, joka oli halutun työstöradan muodon mukainen. Suora työstörata projisoitiin apupinnalle, mutta tässä vaiheessa huomattiin, ettei projisoinnoilla ei saada oikeanlaista rataa aikaiseksi. Projisoinnissa kuvio ikään kuin painetaan kohtisuoraan pinnalle, mutta se ei mukaile pinnan muotoja. Projisointi vaihdettiin kääri pinnalle- toiminnoksi, mikä ”käärii” halutun muodon pinnalle. Kääri pinnalle -toiminnossa ei voi käyttää spliniä, vaan se on muutettava takaisin viivoiksi, jotka käärinnän jälkeen pitää muuttaa takaisin spliniksi, jotta niitä voidaan vuorostaan käyttää työstöratana.

Työstöradoista tehtiin muutamia koeajoja, joista voitiin todeta, ettei niillä ollut saavutettavissa merkittävää eroa suoraan työstörataan. Nämä työstöradat ovat kolmeakselista työstöä, sillä työstökone liikkuu kolmen akselin avulla yhtäaikaan. Päädyn muodon työstö on muutettu tehtäväksi yhdellä kertaa.

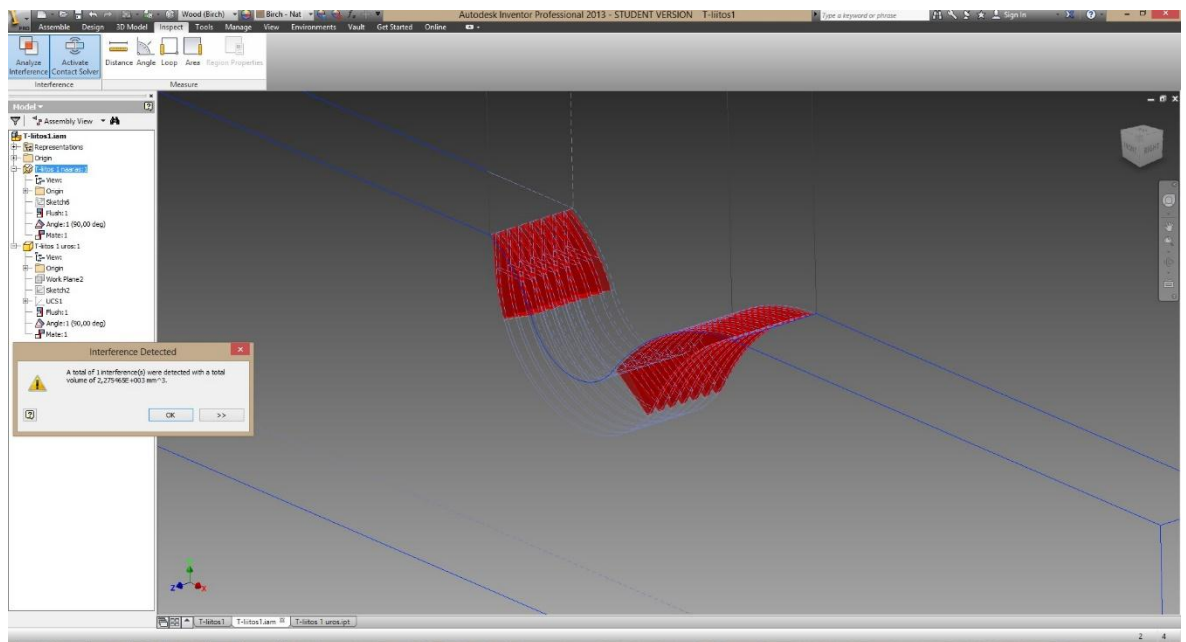


KUVIO 11. Kaarevat työstöradat

6.4 Työstöradan poikkileikkaus kuvat

Nyt käytetylle liitoksenvalmistusmenetelmälle ei yrityksistä huolimatta löytynyt yhtään toista valmistustapaa, jolla liitos voitaisiin tehdä paremmin. Neljä ja useampi akselisia työstöjä mietittiin, mutta niistäkään ei apua tuntunut löytyvän, lisäksi niiden ohjelmointi on huomattavasti vaikeampaa ja käytettävät laitteet kalliimpia, kuin vähemmän akseleita käsittävä työstökone. Näistä seikoista johtuen päädyttiin parantamaan nykyistä valmistusmenetelmää.

Liitoksesta haluttiin saada jonkinlainen mitoituskuva, josta saataisiin käsitys miten liitoksessa esiintyvä rako etenee, sekä miten erilainen työstörata vaikuttaa tähän. Koska kolmiulotteisista kuvioista saa huomattavasti selkeämmän kuvan asiasta, kokeiltiin ensimmäisenä mallinnusohjelmien törmäystestauksia, löytyisikö niistä millaisia mahdollisuuksia.

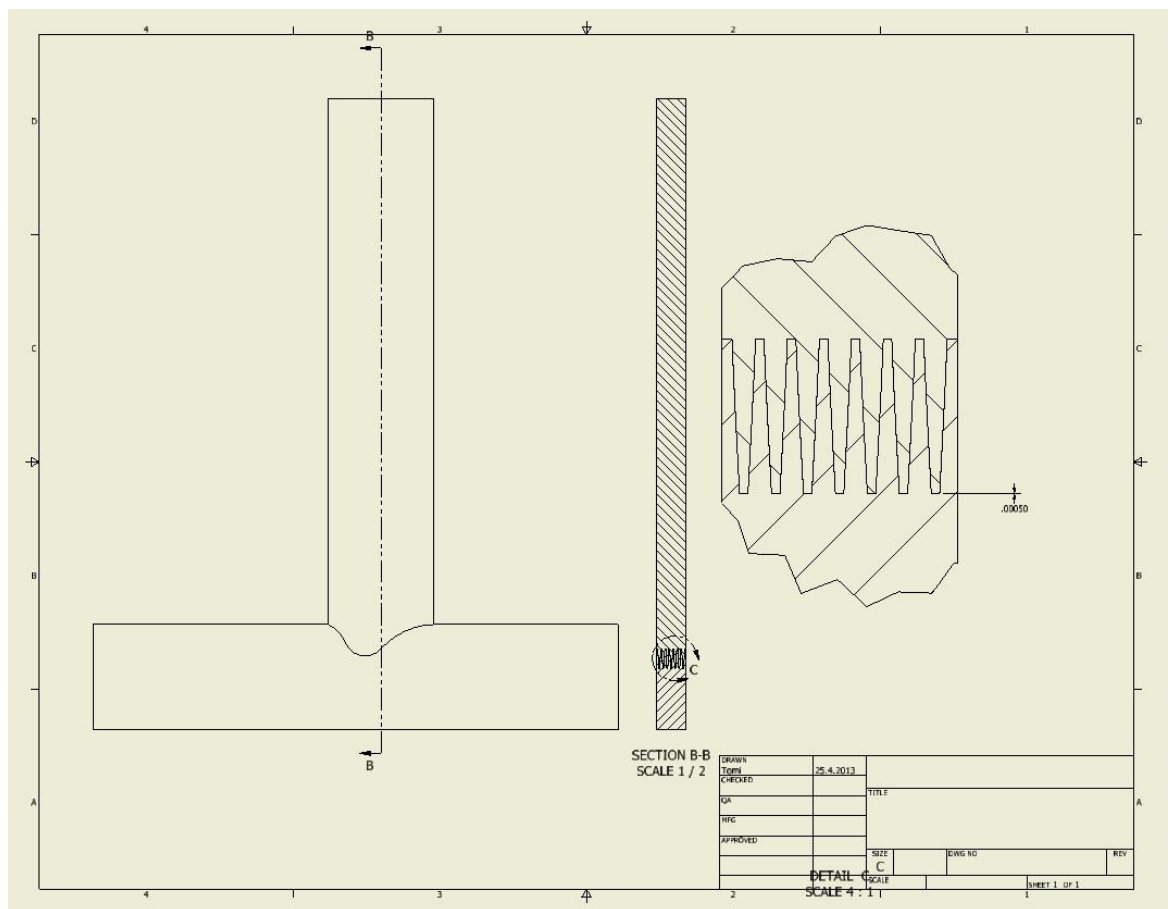


KUVIO 12. Törmäystarkastelu Autodesk Inventor

Törmäystarkasteluissa mallina käytettiin T-liitosta. Törmäystarkastelu ilmoittaa vain tapahtuuko törmäyminen vai ei, tästä ei ole kuitenkaan minkäänlaista apua raon koon määrittelyssä. Ajatuksena on että, paras mahdollinen tulos olisi jos ohjelma ilmoittaisi esimerkiksi väreillä raon koon, vihreä jos on rako ja punainen jo menevät päällekkäin ja

suuruuden värien tummuusasteina. Ohjelmistoista ei kuitenkaan löytynyt tällaista mahdollisuutta, joten siirryttiin seuraavaan vaihtoehtoon.

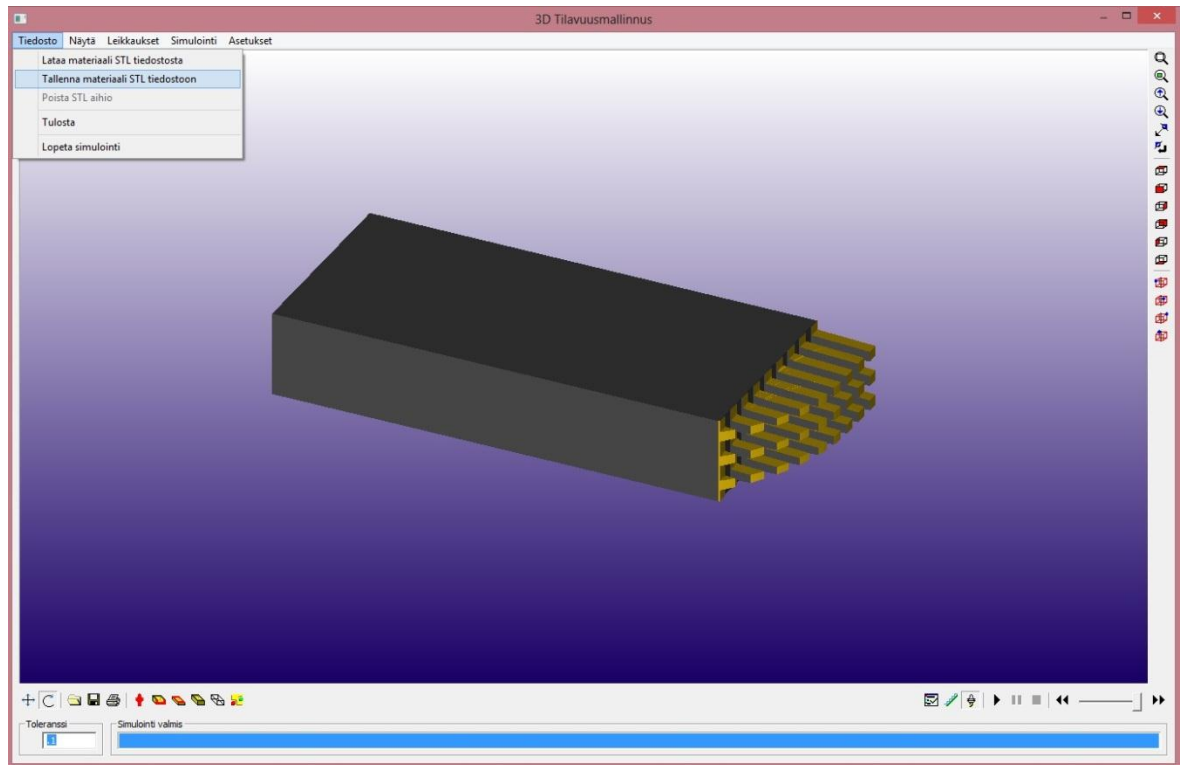
Toinen vaihtoehto on tehdä liitoksen kokoonpanosta useita poikkileikkauksia (KUVIO 13) ja mitoittaa niissä sormien väliin jäävä rako. Tämä menetelmä toimikin erittäin hyvin, kuitenkin sillä ehdolla että osat on tehty samalla ohjelmistolla tai samantyyillisillä ja tuetuilla tiedostomuodoilla. Ongelmaksi osoittautui liitoksen saaminen oikeaa työstöä vastaavaksi, käytetyillä ohjelmistoilla ei yksinkertaisesti saanut tehtyä liitoksesta todellista koneistettua liitosta vastaavaksi.



KUVIO 13. Poikkileikkauksen piirustuskuva

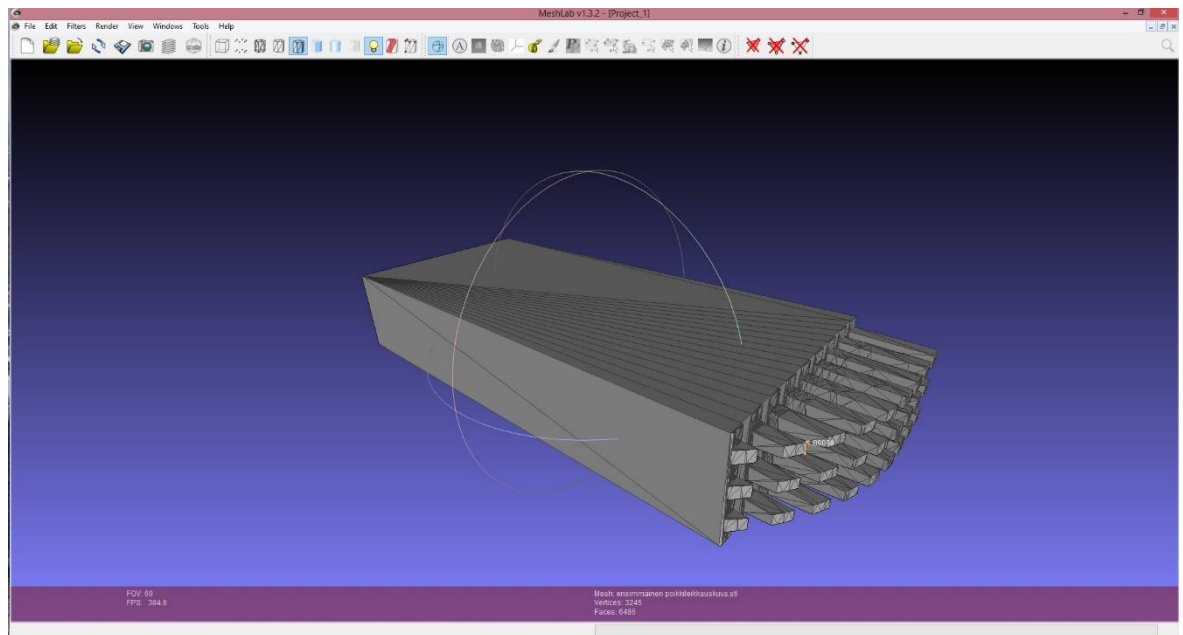
Alphacam- ohjelmisto mahdollistaa työstön simuloinnin eli näyttää millainen kappale on työstön jälkeen. Simuloitu kappale on myös mahdollista tallentaa STL-tiedostoksi, jota monet mallinnusohjelmistot ymmärtävät. Uroskappale simuloitiin CAM-ohjelmalla ja tuotiin STL-muodossa 3D-mallinnusohjelmaan, jossa oli tarkoitus tehdä kokoonpano ja poikkileikkaukset. Jostain syystä tämäkään ei onnistunut, vaikka STL-tiedostoa yritettiin siistiä ja korjata erilaisilla ohjelmistoilla. Kappale tuli mallinnusohjelmaan joko

kokonaisena, jolloin se näkyy mallinnusohjelmassa oikein, mutta sille ei voi tehdä mitään tai kappale meni aivan pilalle.



KUVIO 14. Alphacam simulointi.

Koska Alphacam -ohjelman simuloinnista ei löydy mittaamiseen tarvittavia työkaluja, aloitettiin tällaisen ohjelman etsiminen. Pienen hakemisen jälkeen internetistä löydettiin ilmainen Meshlab -ohjelmisto (KUVIO 15), joka on tarkoitettu 3D -mallien korjaamiseen, tarkastuksiin ja muokkaamiseen. Tämä ohjelma mahdollistaa STL-muodossa olevien kolmiulotteisten kappaleiden mittaamisen. CAM-ohjelmassa tehtiin aihioon kolmen millimetrin kokoisia tappeja, jotka työstettiin simuloinnissa oikeaa liitosta vastaavaksi. Tämä sen takia, koska mittauksessa ei voida tarttua mihinkään tarkkaan kohtaan kappaletta, vaan tarkkuus on kiinni hiiren liikuttelusta, aihion jakaminen valmiisiin kolmen millimetrin paloihin muodostaa kappaleeseen kulmia, joista mittaaminen onnistuu huomattavasti helpommin.



KUVIO 15. Meshlab-ohjelmisto

Ensimmäinen mittaus suoritettiin T-liitoksen työstöradalle, josta oli tehty jo muutama koekappale. Mittauksen otettiin liitoksen päädyistä ja kolmen millimetrin välein 48mm:iin, eli liitoksen puoliväliin, toinen puoli on aivan vastaavanlainen joten sitä ei ole tarvetta mitata. Koska mittaustarkkuus riippuu mittaajasta, otettiin jokaisesta kohdasta kuusi mittausta joiden keskiarvo sijoitettiin taulukkoon. Jokaisesta kohdasta mitattiin myös etäisyydet tapin pohjasta ja kärjestä. Saatuja tuloksia verrataan vastakkaiseen uraan, joka on helposti mallinnettavissa mallinnusohjelmistoilla, sen työstössä kun ei tarvitse terää liikuttaa korkeussuunnassa.



Saaduista mittauksista (TAULUKKO 1) voidaan havaita, että joka puolella liitoksessa on rako. Missään kohdin liitosta ei ole päällekkäisyyttä. Koekappaleista havaittiin, että suurin rako on uroskappaleen sormenpään kaarevan alueen keskivaiheilla, sama voidaan havaita mittauksista. Työstöradan muoto ja mitat on havainnollistettu liitteissä (LIITE 25). Kappaleet joita työstetään ovat 100 millimetriä leveitä ja z –liike alkaa että loppuu kappaleen reunoihin. Työstöradassa on varalta pitkät sisään/ulostulo ajot.

Toiseen mittaukseen työstörataa muutettiin siten, että joka toinen ylös/alas liike poistettiin. Seurauksena tästä on puolet vähemmän z –akselin liikkeitä, jolloin terä kuluu vähemmän sekä työstäminen nopeutuu. Tulokset (TAULUKKO 2) ovat hyvin samankaltaisia ensimmäisten tulosten kanssa. Suurin rako näyttääkin muodostuvan sormen kärkeen. On

myöskin huomioitava, että vaikka sormen pohjassa on rakoa vain noin alle kymmenesosa millii, on tätä pientä rakoa vain noin 0 - 2 millimetrin matkalla sormen pohjassa. Tämä tarkoittaa että liitosta voidaan tiukentaa hieman, pohjassa tältä pieneltä alueelta ura ja sormi menevä päällekkäin, mutta muualta liitoksesta tulee tiukempi.



TAULUKKO 1. Ensimmäisen työstöradan raot

Mittaus	Etäisyys (mm)	URA (pohja)	URA (pinta)	TAPPI(pohja)	TAPPI(pinta)	ERO(sauma)	ERO(tapin pää)
1	0	2,564	2,564	2,34	2,34	0,224	0,224
2	3	2,564	2,742	2,23	2,51	0,512	0,054
3	6	2,564	2,911	2,75	2,03	0,161	0,534
4	9	2,564	3,071	2,85	1,87	0,221	0,694
5	12	2,564	3,220	2,93	1,77	0,29	0,794
6	15	2,564	3,356	3,11	1,71	0,246	0,854
7	18	2,564	3,479	3,32	1,69	0,159	0,874
8	21	2,564	3,586	3,41	1,81	0,176	0,754
9	24	2,564	3,676	3,62	1,84	0,056	0,724
10	27	2,564	3,748	3,55	2,03	0,198	0,534
11	30	2,564	3,841	3,79	2,01	0,051	0,554
12	33	2,564	3,841	3,84	2,08	0,001	0,484
13	36	2,564	3,841	3,8	2,21	0,041	0,354
14	39	2,564	3,841	3,83	2,25	0,011	0,314
15	42	2,564	3,841	3,82	2,48	0,021	0,084
16	45	2,564	3,841	3,83	2,49	0,011	0,074
17	48	2,564	3,841	3,84	2,51	0,001	0,054

 = rako
 = päällekkäisyys

TAULUKKO 2. Toisen työstöradan raot



Mittaus	Etäisyys (mm)	URA (pohja)	URA (pinta)	TAPPI(pohja)	TAPPI(pinta)	ERO(sauma)	ERO(tapin pää)
1	0	2,564	2,564	2,52	2,52	0,044	0,044
2	3	2,564	2,742	2,54	2,28	0,202	0,284
3	6	2,564	2,911	2,71	2,03	0,201	0,534
4	9	2,564	3,071	2,82	1,75	0,251	0,814
5	12	2,564	3,220	2,97	1,71	0,25	0,854
6	15	2,564	3,356	3,09	1,8	0,266	0,764
7	18	2,564	3,479	3,25	1,83	0,229	0,734
8	21	2,564	3,586	3,4	1,82	0,186	0,744
9	24	2,564	3,676	3,62	1,85	0,056	0,714
10	27	2,564	3,748	3,68	1,89	0,068	0,674
11	30	2,564	3,841	3,77	2,01	0,071	0,554
12	33	2,564	3,841	3,82	2,06	0,021	0,504
13	36	2,564	3,841	3,78	2,21	0,061	0,354
14	39	2,564	3,841	3,8	2,39	0,041	0,174
15	42	2,564	3,841	3,81	2,46	0,031	0,104
16	45	2,564	3,841	3,83	2,48	0,011	0,084
17	48	2,564	3,841	3,79	2,45	0,051	0,114

 = rako
 = päällekkäisyys

Kolmanteen kokeiluun työstöradan z -liikettä kavennettiin suurimmasta 1,377 mm:stä 1,6 mm:iin sekä z -liikkeen pituutta lyhennettiin vajaalla 2 mm:llä. Näiden tavoitteena oli saada sormen pohjassa oleva väli negatiivisen puolelle, ja pienentää sormen päässä olevaa rakoja. Saadut mittaustulokset (TAULUKKO 3) varmistivat tämän tavoitteen, sormen pohjassa on hieman päällekkäisyyttä ja sormen kärjessä rako pieneni n. 0,1 -0,2 mm. Tällä työstöradalla valmistettua liitosta ei kuitenkaan voitu testata käytännössä, johtuen laiterikosta.

TAULUKKO 3. Kolmannen työstöradan raot

Mittaus	Etäisyys (mm)	URA (pohja)	URA (pinta)	TAPPI(pohja)	TAPPI(pinta)	ERO(sauma)	ERO(tapin pää)
1	0	2,564	2,564	2,65	2,65	-0,086	-0,086
2	3	2,564	2,742	2,82	2,4	-0,078	0,164
3	6	2,564	2,911	2,92	2,23	-0,009	0,334
4	9	2,564	3,071	2,98	2,06	0,091	0,504
5	12	2,564	3,220	3,28	2,04	-0,06	0,524
6	15	2,564	3,356	3,41	2,02	-0,054	0,544
7	18	2,564	3,479	3,52	1,9	-0,041	0,664
8	21	2,564	3,586	3,63	1,97	-0,044	0,594
9	24	2,564	3,676	3,71	2,08	-0,034	0,484
10	27	2,564	3,748	3,85	2,12	-0,102	0,444
11	30	2,564	3,841	3,87	2,2	-0,029	0,364
12	33	2,564	3,841	3,79	2,35	0,051	0,214
13	36	2,564	3,841	3,88	2,36	-0,039	0,204
14	39	2,564	3,841	3,87	2,33	-0,029	0,234
15	42	2,564	3,841	3,82	2,35	0,021	0,214
16	45	2,564	3,841	3,89	2,31	-0,049	0,254
17	48	2,564	3,841	3,85	2,34	-0,009	0,224

 = rako
 = päällekkäisyys

6.5 Terän kulumisen

Koska sormiliitosterää liikutetaan työstön aikana myös korkeussuunnassa, on herännyt kysymys siitä että vaikuttaako tämä terän kulumiseen. Terien kulumista on tutkittu monissa eri tutkimuksissa, mutta ne keskittyvät suurelta osin terä-tai puumateriaalien vaikutukseen terien kulumisessa. Kun vastausta ei tuntunut löytyvän kirjallisuudesta, niin päätettiin tehdä pienimuotoinen kysely puuntyöstöteriä myyviin ja valmistaviin yrityksiin.

Muutaman sähköpostiviestin ja puhelinsoiton jälkeen alkoi selvitä mikä on terän ongelma. Sormiliitosteriä ei ole suunniteltu työstöön, jossa terää liikutetaan korkeussuunnassa.

Jokainen sormiliitosteriä myyvä ja valmistava yritys, joilta asiaa kysyttiin, sanoi melkein sanasta sanaan samaa, sormiliitosterän leikkuissa ei ole ollenkaan päästöjä ja tämä aiheuttaa sen että ylös/alas liikuttelu polttaa terän reunat ja aiheuttaa terän nopean kulumisen, tai pahimmassa tapauksessa särkymisen. Jos teriin tehdään päästöt, aiheuttaa tämä teroituksessa sormen koon muuttumisen, eli toisin sanoen joka teroituksen jälkeen puuhun muodostuva sormi paksuneee.

Yksi vaihtoehto saattaisi olla terä jossa on vaihtolaput, terän tylsyttyä vaihdetaan vain uudet terälaput. Niin sanotut lapputerät ovat kylläkin yleisesti hieman suurempia halkaisijaltaan kuin nyt valmistetut terät. Halkaisijan suurentuessa myös valmistettavan liitoksen kaaren muodot kasvavat.

7 MALLI KAPPALEIDEN VALMISTUS

Koeajot suoritettiin puulaboratorion vanhemmalla työstökeskuksella. Koska jigi ja työstö kokeilut tehtiin tällä koneella, oli luonnollista tehdä myös mallikappaleet samalla koneella. Valitettavasti koneen karan sisällä olevat johdot paloivat, jolloin konetta ei pystynyt käyttämään. Poutaselta saadun terän akselin paksuus oli 30 millimetriä ja terää yritettiin saada kiinnitettyä puulaboratorion uudempaan työstökeskukseen, mutta koneeseen ei saanut edes tilaamalla, kuin 26 millimetrin akselille tarkoitettuja istukoita. Vanhempaa työstökeskusta ei ehditty saamaan kuntoon opinnäytetyön valmistumiseen mennessä, joten ainoiksi mallikappaleiksi jäivät muutamit koeajoissa tehdyt kappaleet.

8 YHTEENVETO JA POHDINNAT

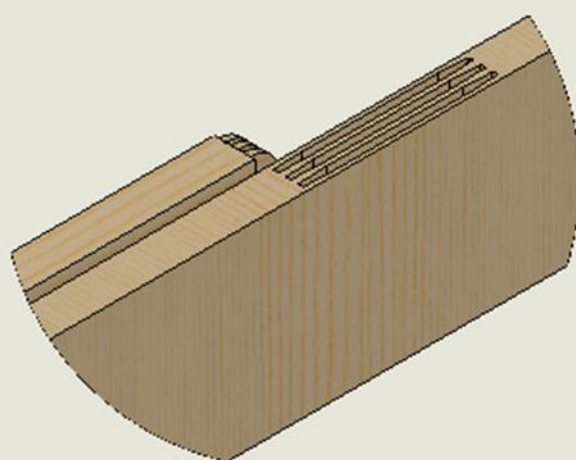
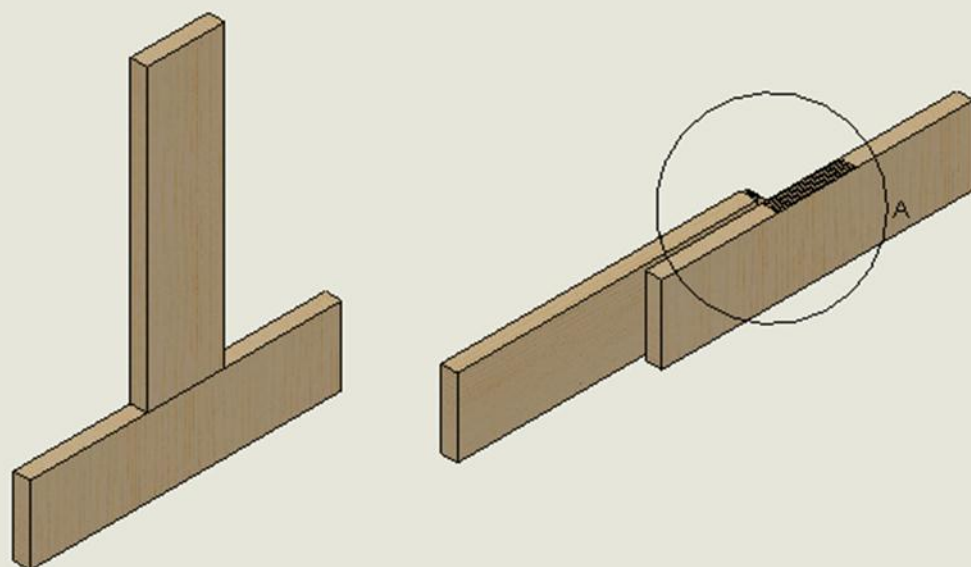
Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin, muilta paitsi mallikappaleiden osalta. Liitoksiin saatiin tehtyä muutamia erilaisia ehdotuksia sekä liitoksessa esiintyvä rakon ongelmaa saatiin havainnollistettua. Työstöradan vaikutusta raon kokoon testattiin tietokoneohjelmien avulla siten että lopputulokseksi saatiin parempi työstörata. Toisaalta saadut vastaukset eivät ei kuitenkaan täysin yhteensopivia, jos käytetään hiukankin erikokoista tai muotoista terää, kuin tässä työssä käytettiin.

Erilaisissa testauksissa liitosten kestävyys on todettu hyväksi, jopa niin hyväksi että liitos kestää enemmän kuin ympäröivä puuaines. Tärkeää olisikin selvittää kuinka ”huono” liitoksesta voidaan tehdä, kuitenkin siten, että liitos on riittävän luja. Voi olla että yksinkertainen ja helposti valmistettava olisi tarpeeksi kestävä, jolloin vaikeasti valmistettavat monimuotoiset liitosmallit voitaisiin jättää suosiolla pois. Toisaalta vaikeammin valmistettava liitos on esteettisemmän näköinen ja varmasti kestävämpi. Tällaisille liitosratkaisuille löytyy huonekaluteollisuudessa kysyntää. Kysymys onkin siitä, kuinka paljon lisäarvoa vaikeista ja näyttävistä liitoksista saa. Ei varmaankaan ole mitään väliä miltä liitos näyttää, jos se on yläpohjassa villojen joukossa.

LÄHTEET

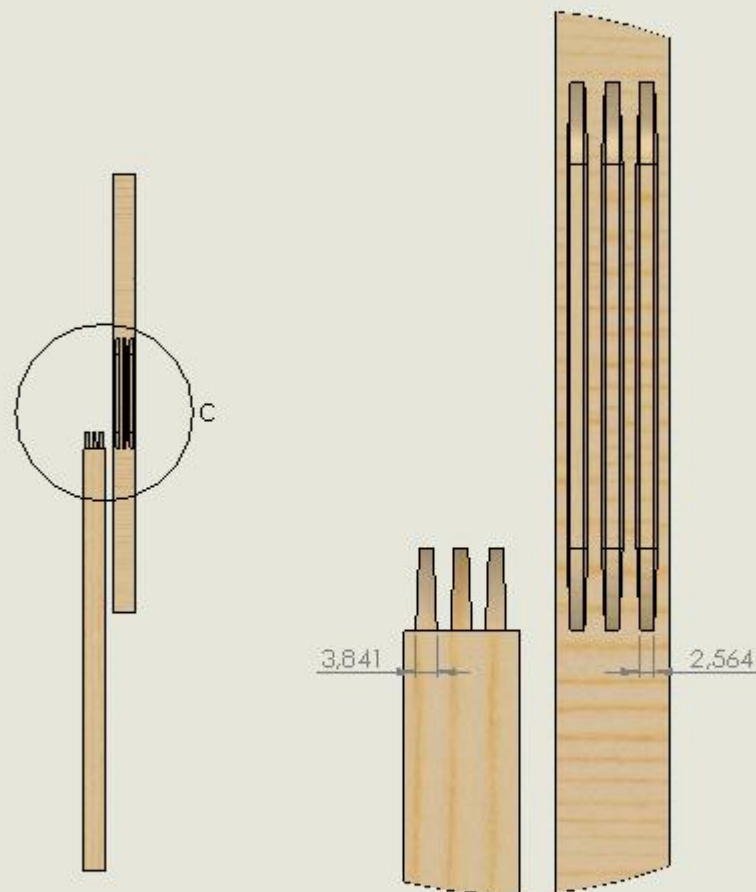
- Carling, O. 2003. Liimapuukäsikirja. Wood Focus Puuinfo. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/liimapuukasikirja/liimapuukasikirja.pdf>. Luettu 10.1.2013.
- CNC palvelu KNOW-HOW. Multimediaopintomateriaali SURFCAM CAD/CAM-ohjelmistoon.
- George E Price. 1969. Wood truss joint. USA. US3452502.
- Hanns Hess. 1951. Girders. USA. US2780842.
- Hintsala Matti. 2011. Sormiliitoksen työstömenetelmän kehittäminen. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Puutekniikka. Pdf – tiedosto. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38933/Hintsala_Matti.pdf. Luettu 28.9.2012.
- Jokerst, R. 1981. Finger-jointed wood product. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp382.pdf>. Luettu 1.11.2012.
- Kananen, H. 2004. Tehokasta sormijatkamista. Suomen kone ja terä.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P. 1999. 2. painos. Konetekniikan perusteet. Porvoo: WSOY.
- Lemyre Rene Paul. 1990. OPEN JOIST. Kanada. CA2008043
- Martikainen, V-P. 2006. Sormijakosliitoksen käyttö rakennuspuusepänteollisuuden liitoksissa. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Puutekniikka.
- Marttila, T. 2007. NR-ristikkokaton jäykistys sormijatketuilla puuelementeillä. Tutkintotyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Pdf – tiedosto. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9622/Marttila.Toni.pdf>. Luettu 1.10.2012
- Pikkarainen, E., Laurila, A., Pekkola, K. 1993. Tietokoneavusteinen NC-ohjelmointi. 2.uusittu painos. Helsinki: Painatuskeskus.
- Poutanen Tuomo. 1995. Method for production of trussed rafters with nail plate joints. USA. US5440977.
- Poutanen Tuomo. 2006. Puurakenteen jäykiste-elementti. Suomi. FI000119887B.
- Poutanen Tuomo. 2008. Finger Joint. USA. US20080092988.
- Poutanen Tuomo. 2009. Kulmasormiliitos. Pdf – tiedosto. Saatavissa: <http://www.liimaristikko.fi/kuvat/ATT00049.pdf>. Luettu 16.10.2012.
- Poutanen Tuomo. 2013. Joint challenge of timber engineering. Ppt-tiedosto.
- Puuinfo. 2011. Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetty suunnitteluohje. Pdf- tiedosto. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje-www-kolmas-painos-1492011.pdf>. Luettu 20.10.2012.

T-LIITOS



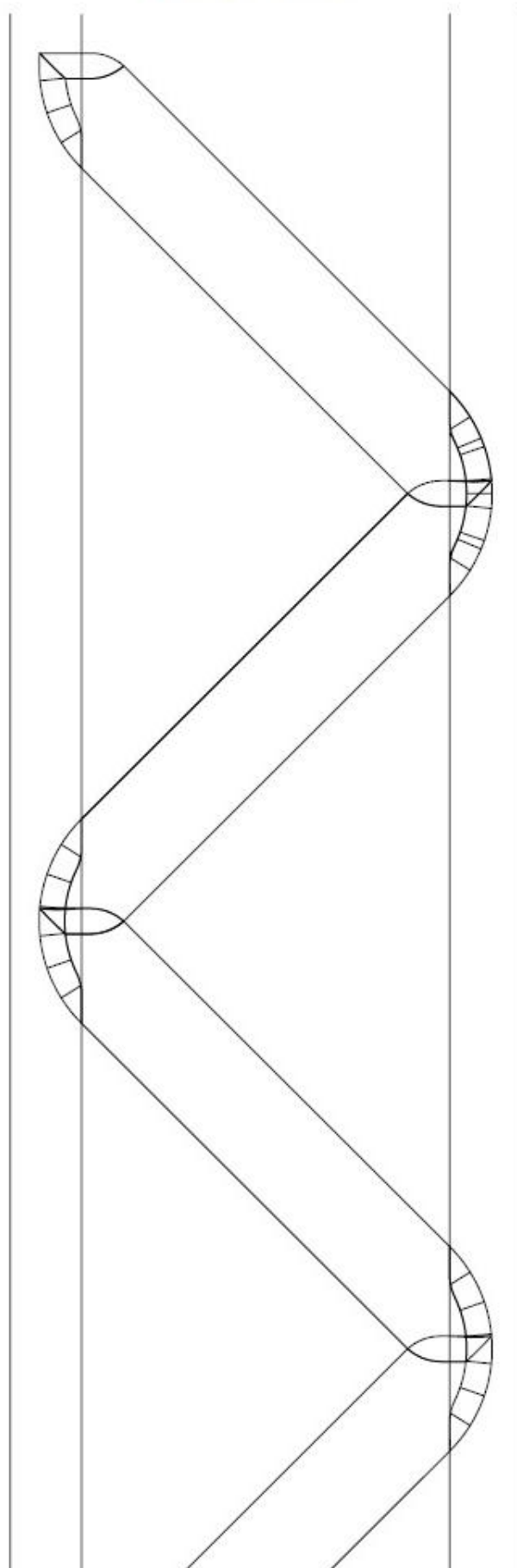
KOHTA A
SCALE 1 : 2

T-LIITOS

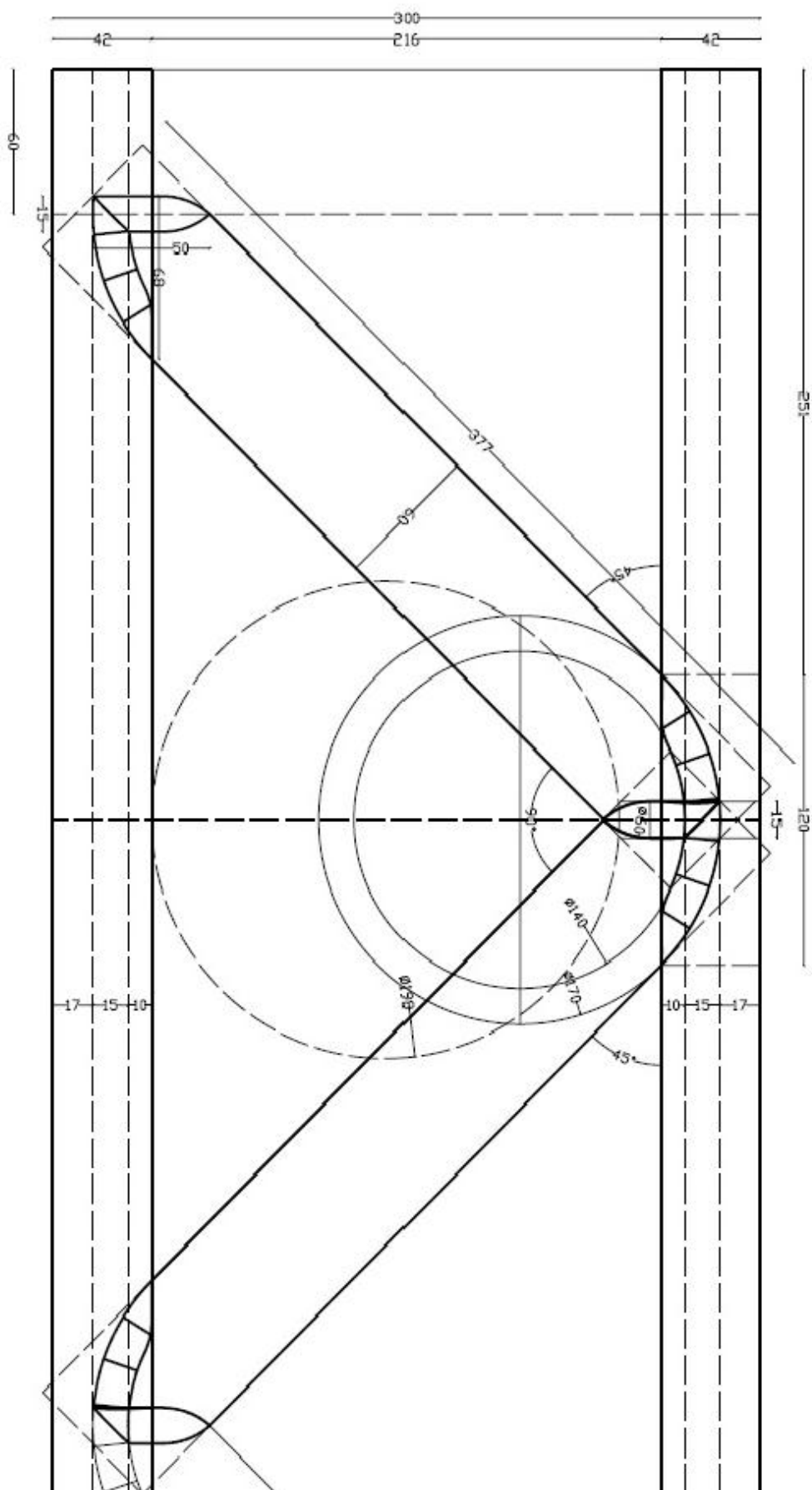


KOHTA C
SCALE 1 : 1

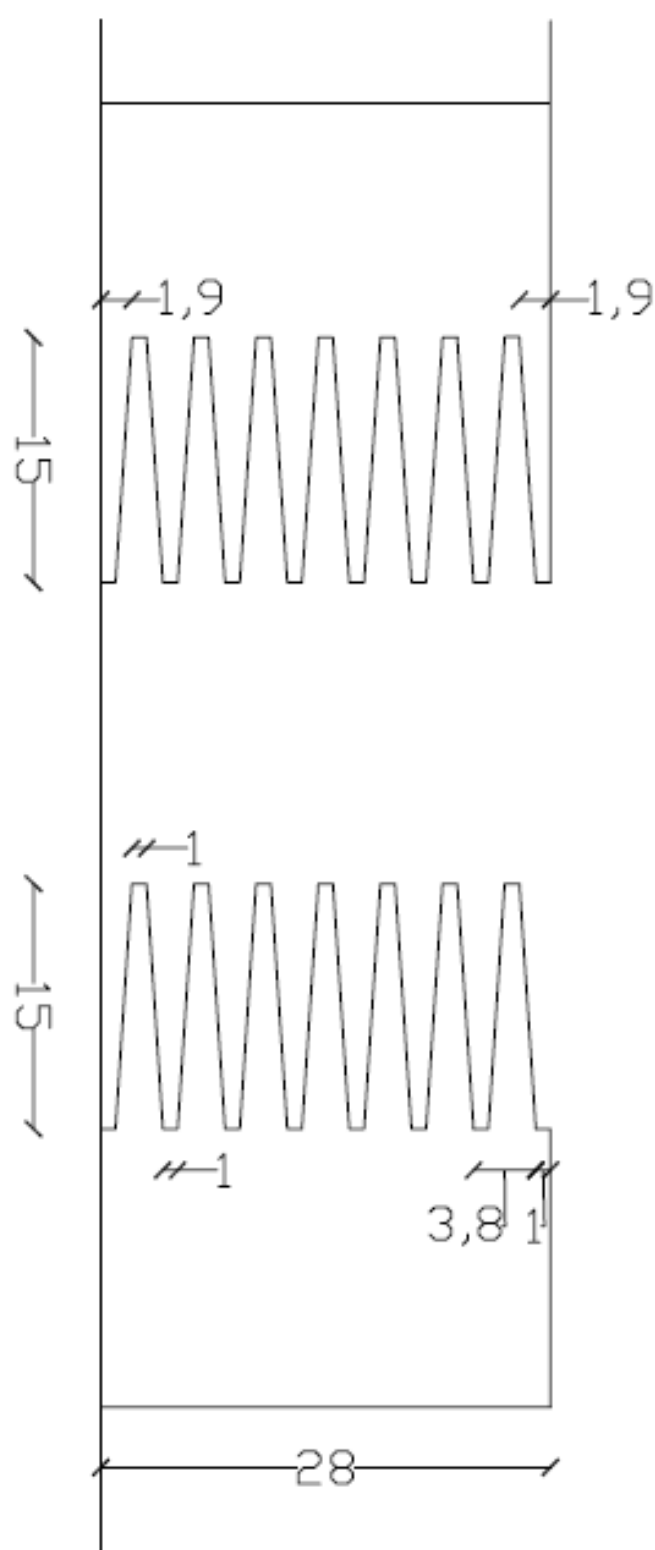
K-LIITOS

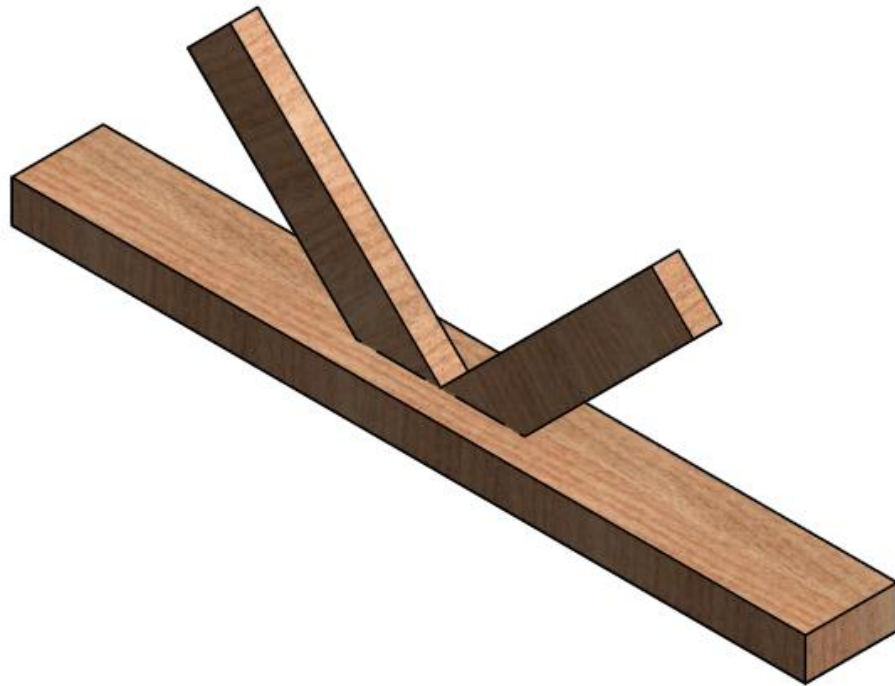


K-LIITOS

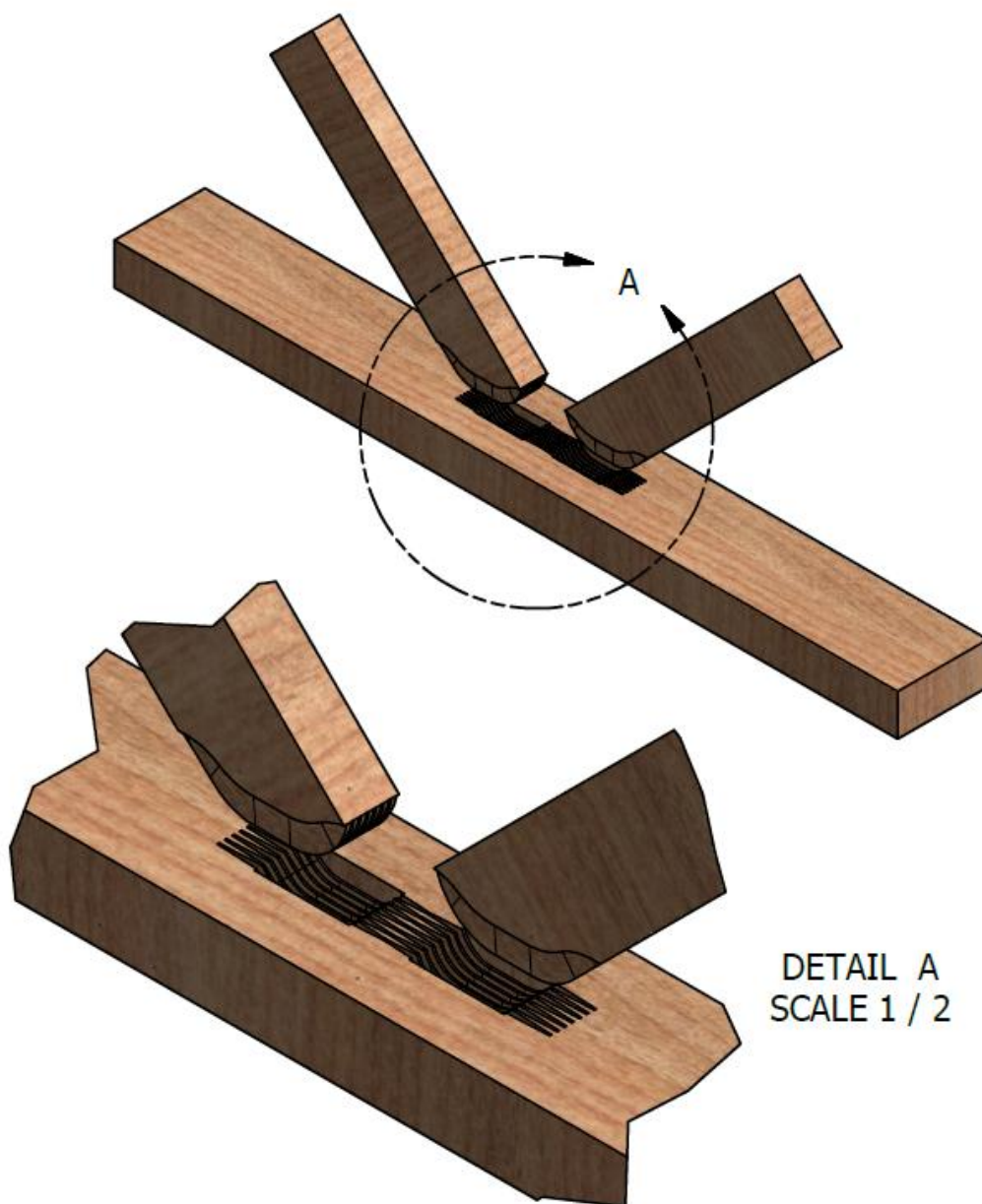


SORMILIITOS





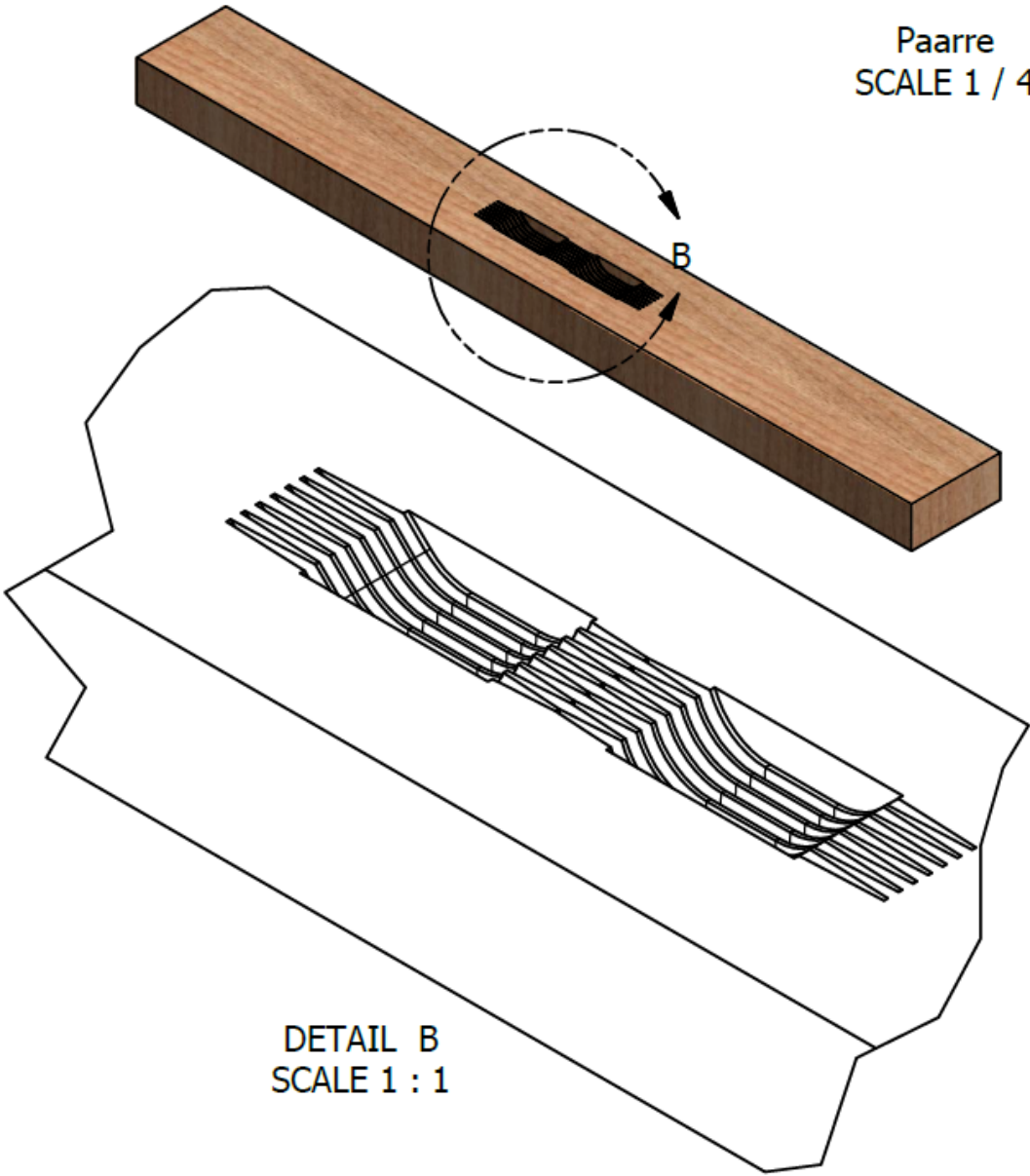
DRAWN Tomi Saarela	27.2.2013	<div>TITLE</div> <div>K-liitosmalli 1</div>			
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4	DWG NO K-liitosmalli1	REV	
		SCALE		SHEET 1 OF 4	



DETAIL A
SCALE 1 / 2

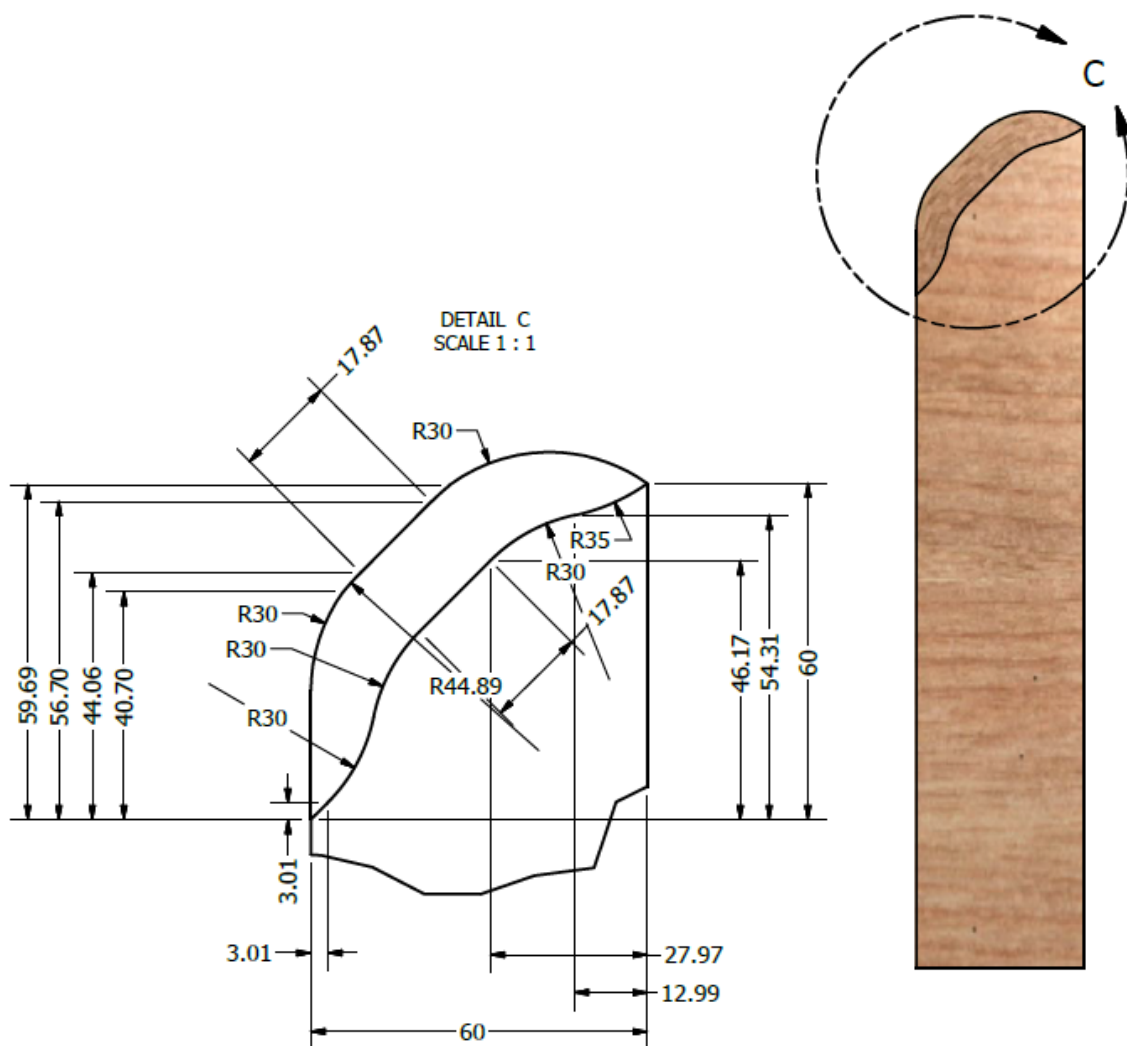
DRAWN Tomi Saarela	27.2.2013	TITLE K-liitosmalli 1		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE A4	DWG NO K-liitosmalli1	REV
		SCALE		SHEET 2 OF 4

Paarre
SCALE 1 / 4

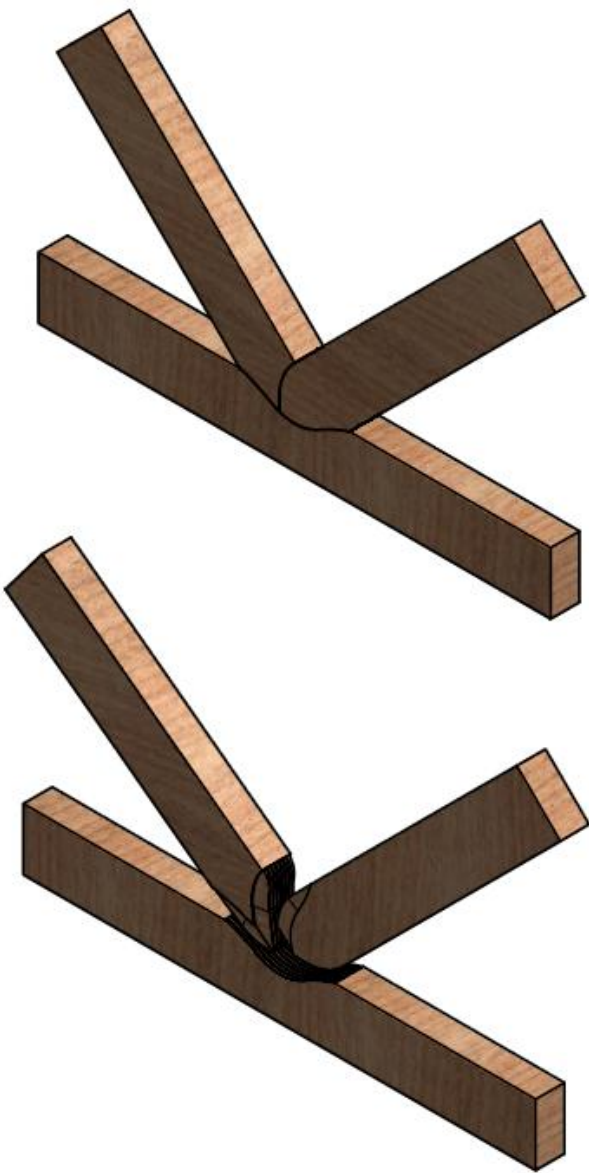


DETAIL B
SCALE 1 : 1

DRAWN Tomi Saarela	27.2.2013	TITLE K-liitosmalli 1		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE A4	DWG NO K-liitosmalli1	REV
		SCALE		SHEET 3 OF 4

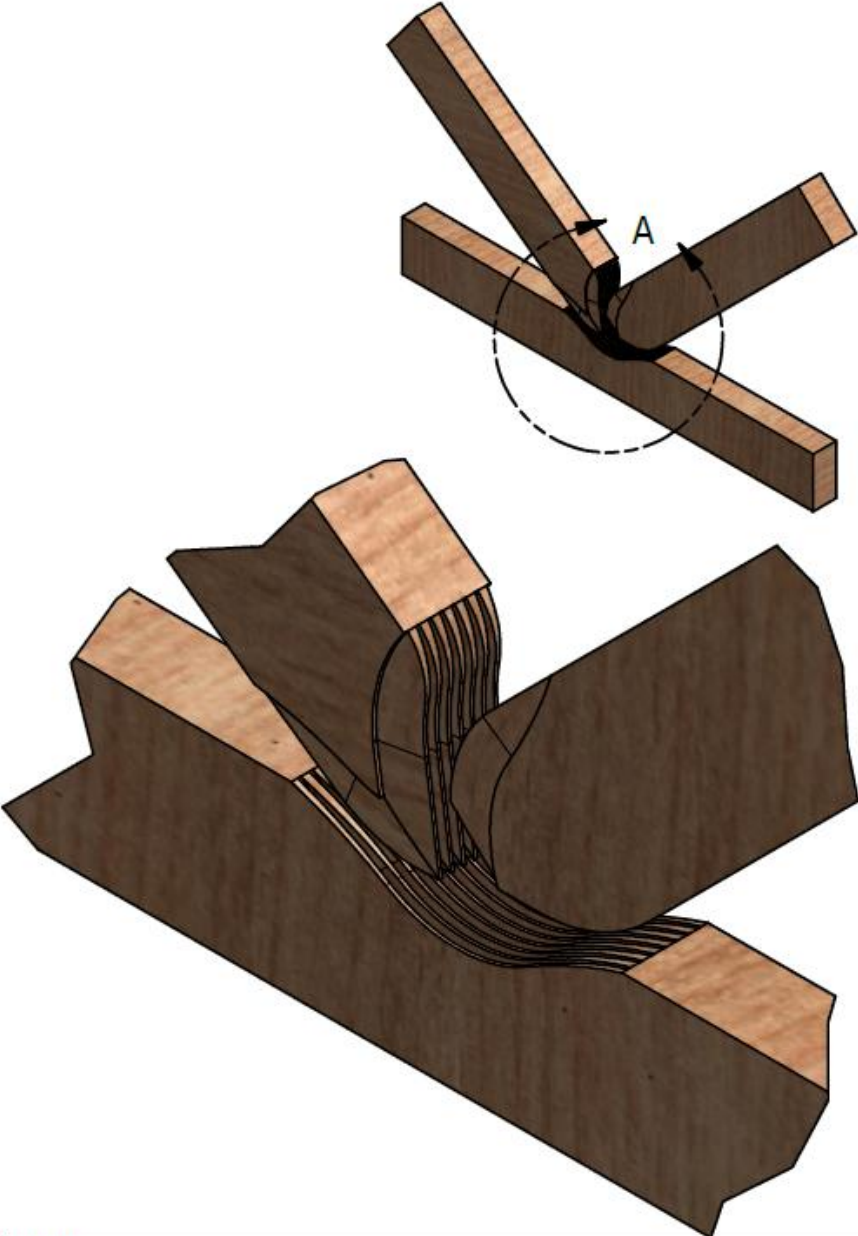


DRAWN Tomi Saarela	27.2.2013	TITLE K-liitosmalli 1		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE A4	DWG NO K-liitosmalli1	REV
		SCALE		SHEET 4 OF 4



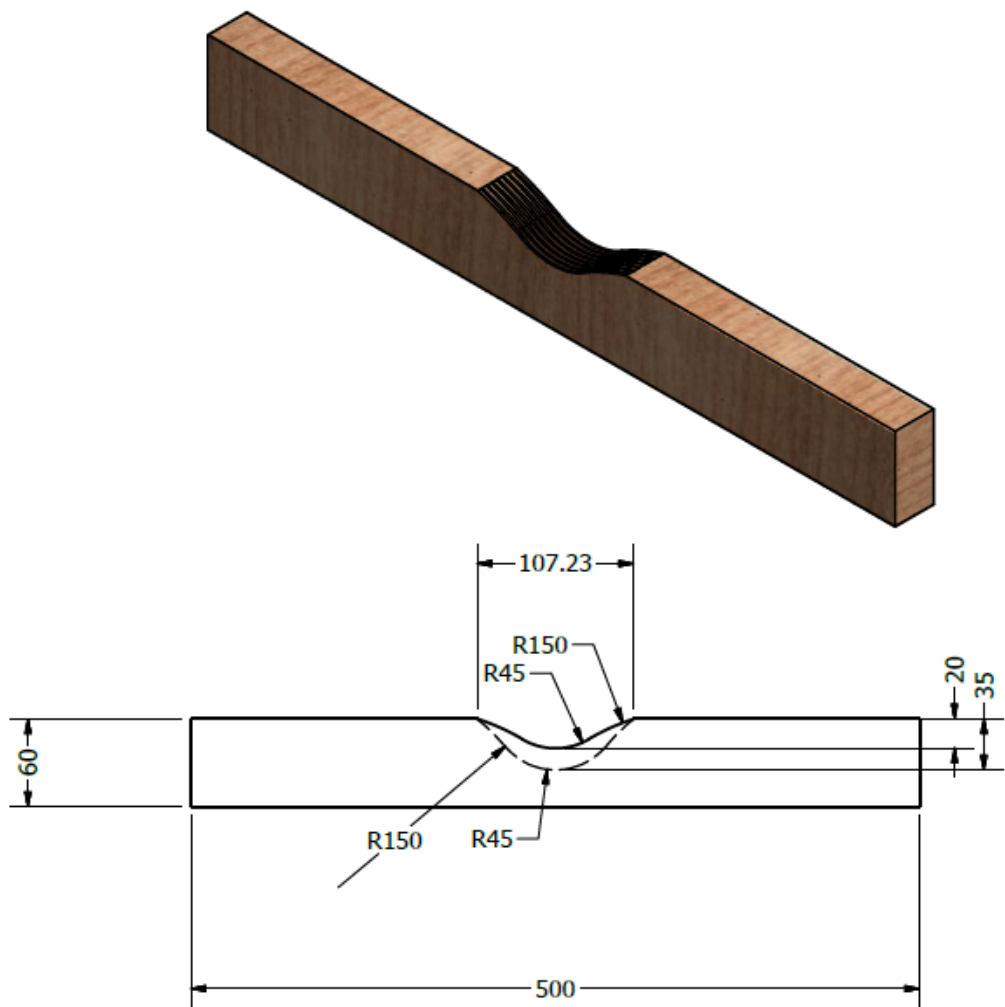
SCALE 1 / 4

DRAWN		TITLE K-liitosmalli 2			
Tomi Saarela	28.2.2013				
CHECKED					
QA					
MFG		SIZE A4			
APPROVED					
		DWG NO K-liitosmalli2		REV	
		SCALE		SHEET 1 OF 5	

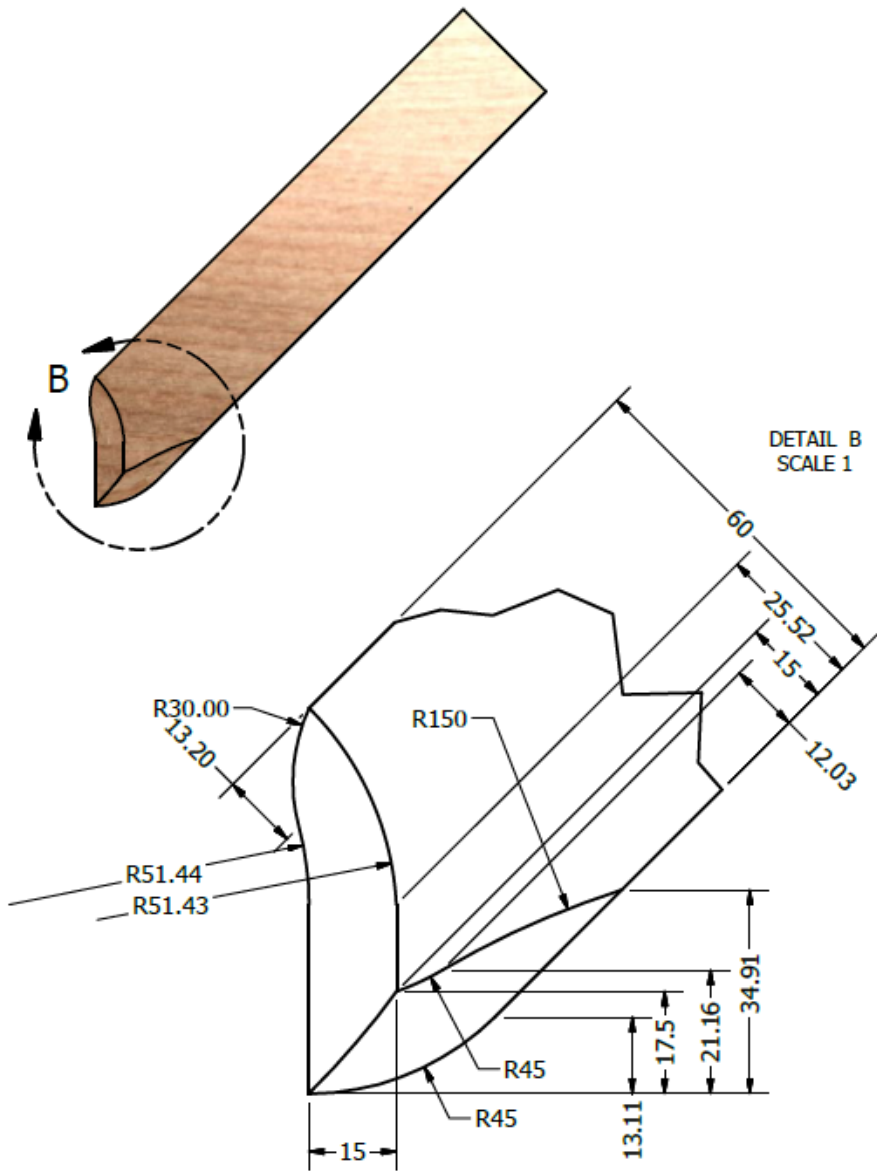


DETAIL A
SCALE 1.5 / 2

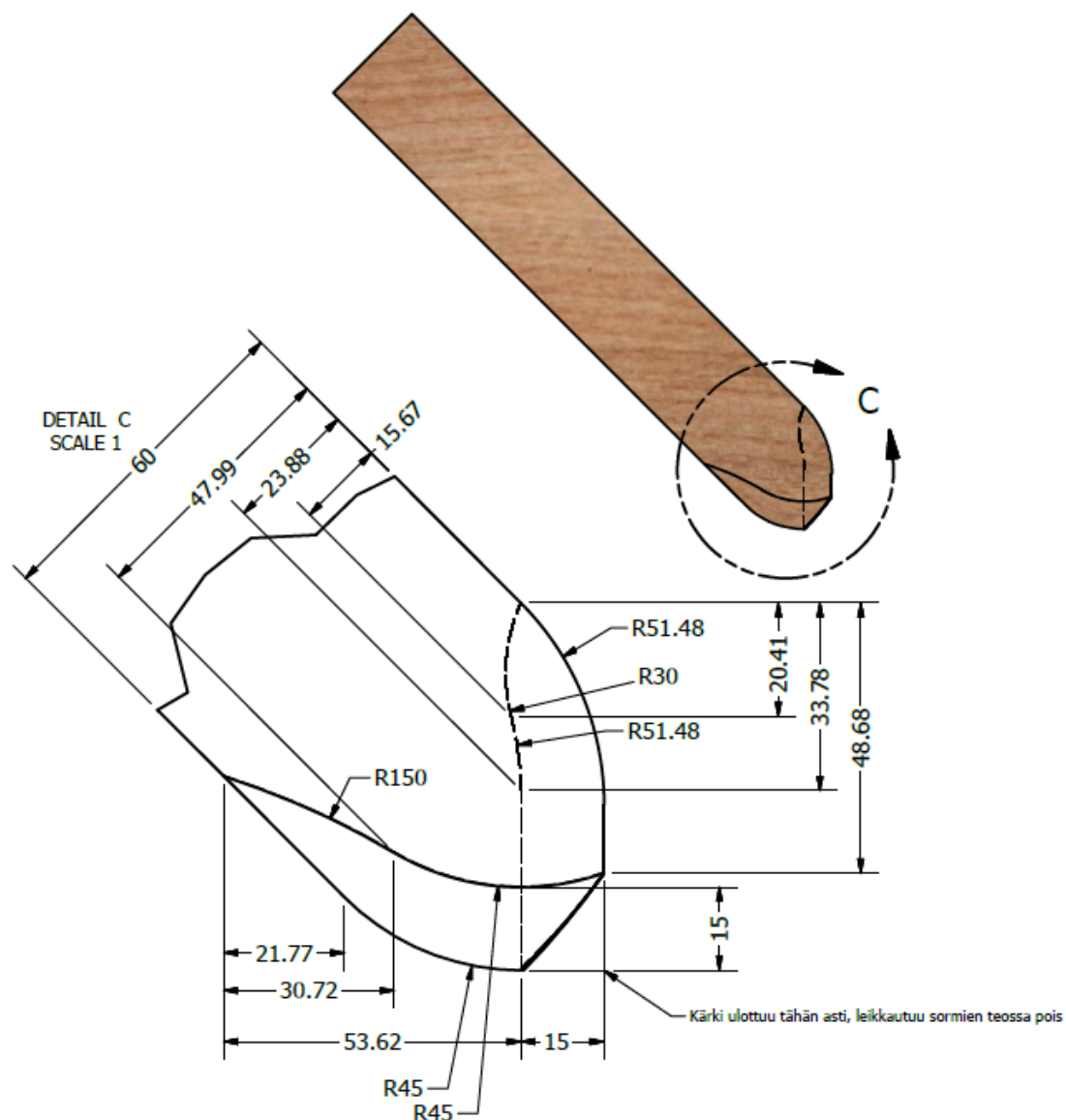
DRAWN		TITLE		
Tomi Saarela	28.2.2013			
CHECKED				
QA				
MFG		K-liitosmalli 2		
APPROVED				
		SIZE	DWG NO	REV
		A4	K-liitosmalli2	
		SCALE	SHEET 2 OF 5	



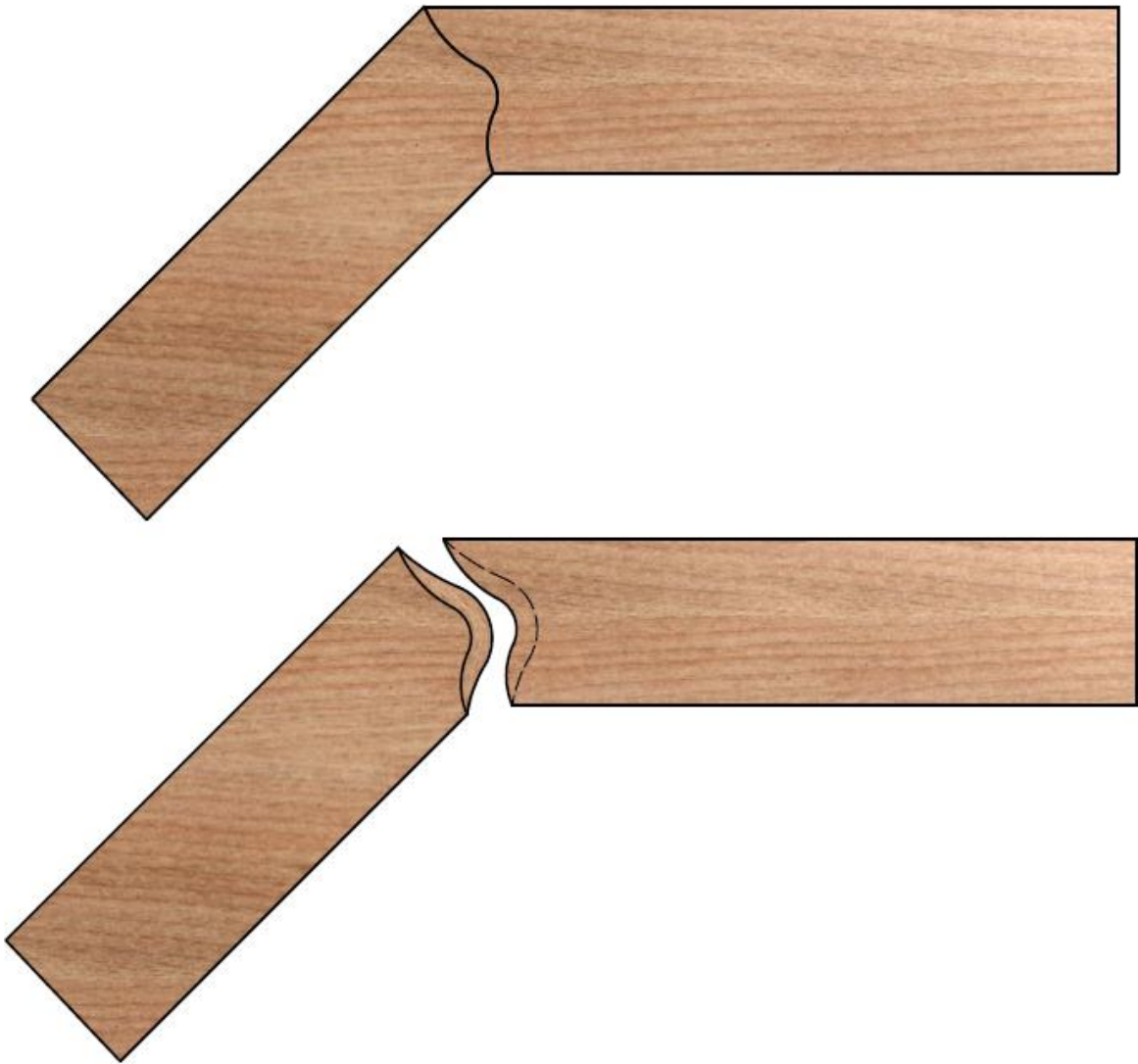
DRAWN					
Tomi Saarela	28.2.2013				
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED		TITLE K-liitosmalli 2			
		SIZE		DWG NO	REV
		A4		K-liitosmalli2	
		SCALE		SHEET 3 OF 5	



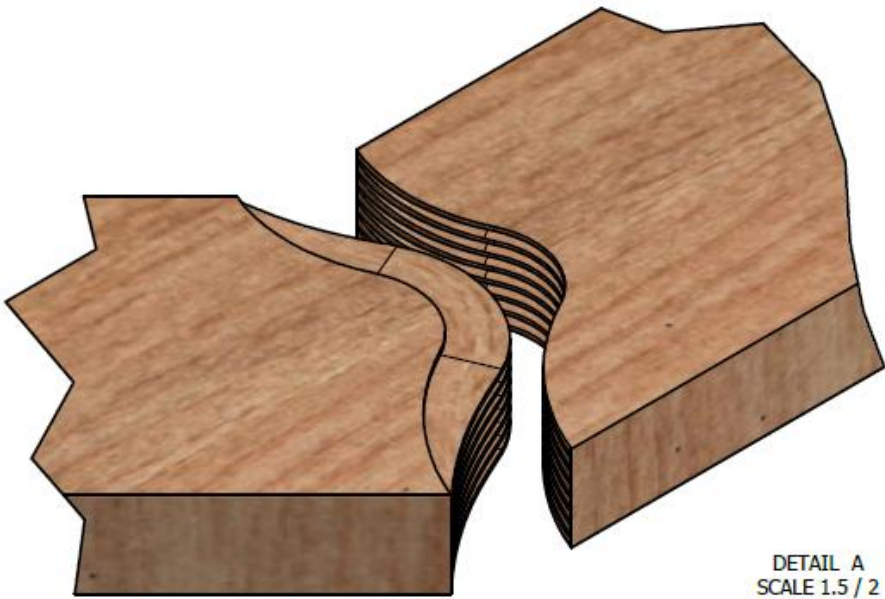
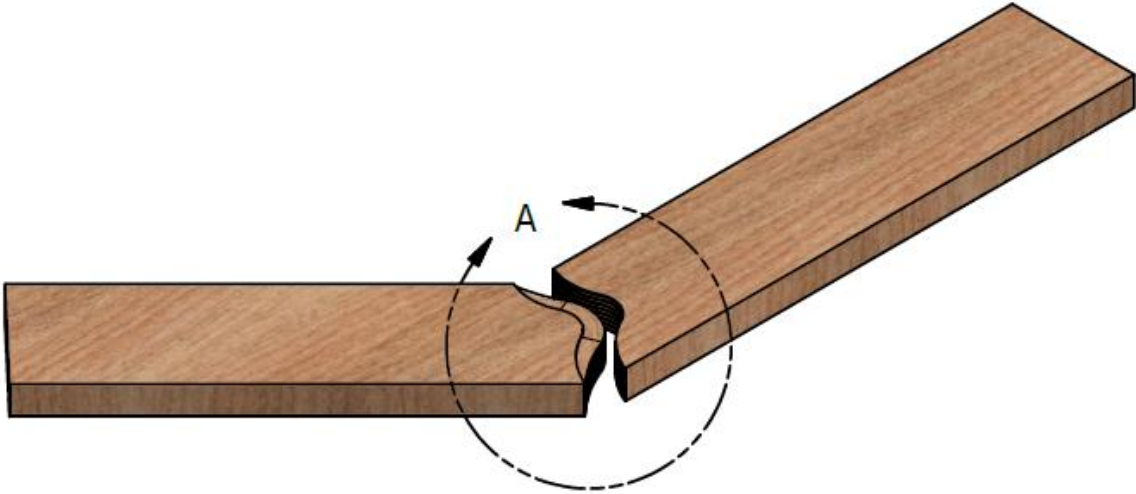
DRAWN		TITLE K-liitosmalli 2		
Tomi Saarela	28.2.2013			
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE	DWG NO	REV
		A4	K-liitosmalli2	
		SCALE	SHEET 4 OF 5	



DRAWN	28.2.2013	TITLE		
Tomi Saarela				
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		K-liitosmalli 2		
		SIZE	DWG NO	REV
		A4	K-liitosmalli2	
		SCALE	SHEET 5 OF 5	

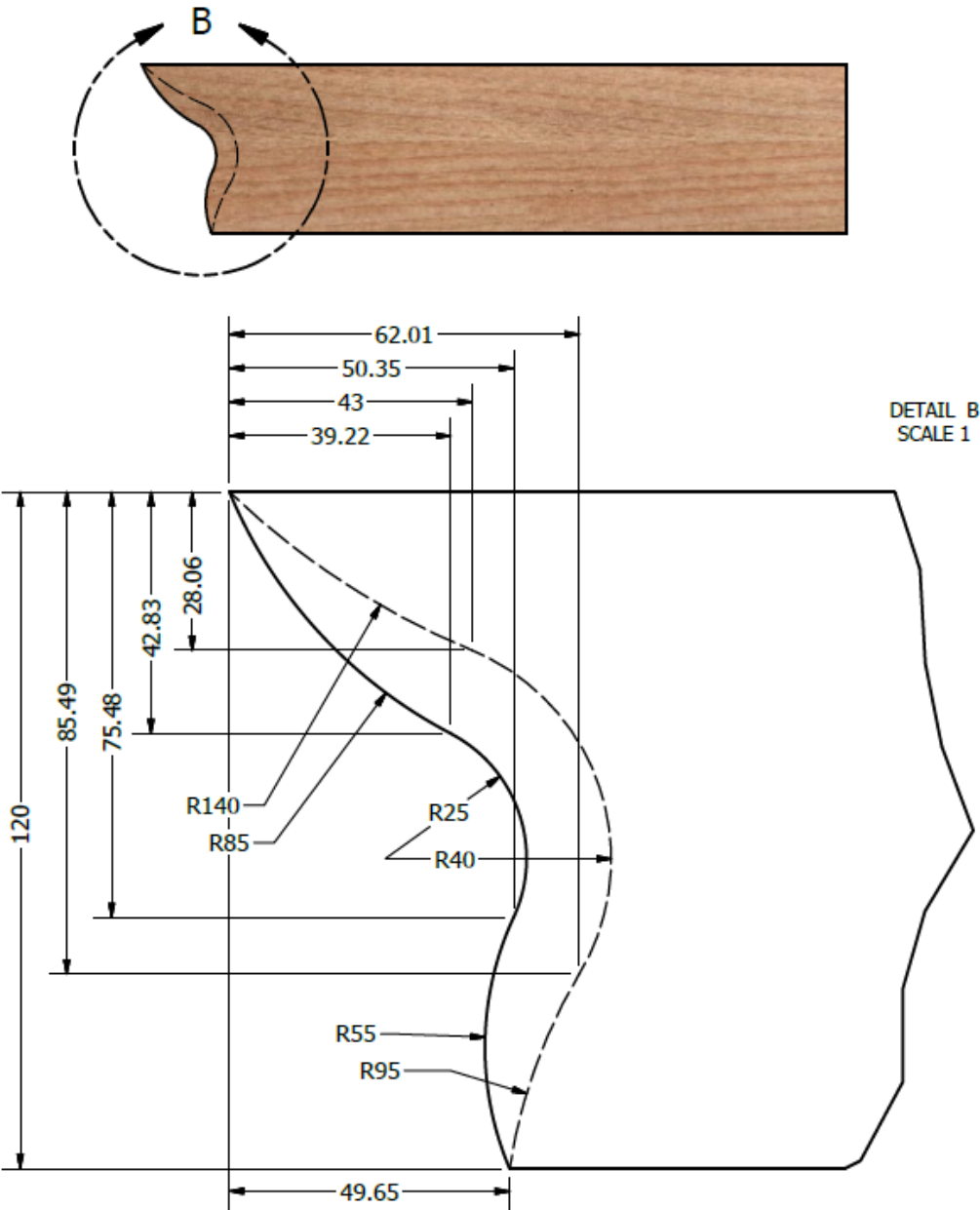


DRAWN					
Tomi Saarela	28.2.2013				
CHECKED					
QA		TITLE			
MFG		45-asteen liitos			
APPROVED					
		SIZE		DWG NO	REV
		A4			
		SCALE			SHEET 1 OF 4

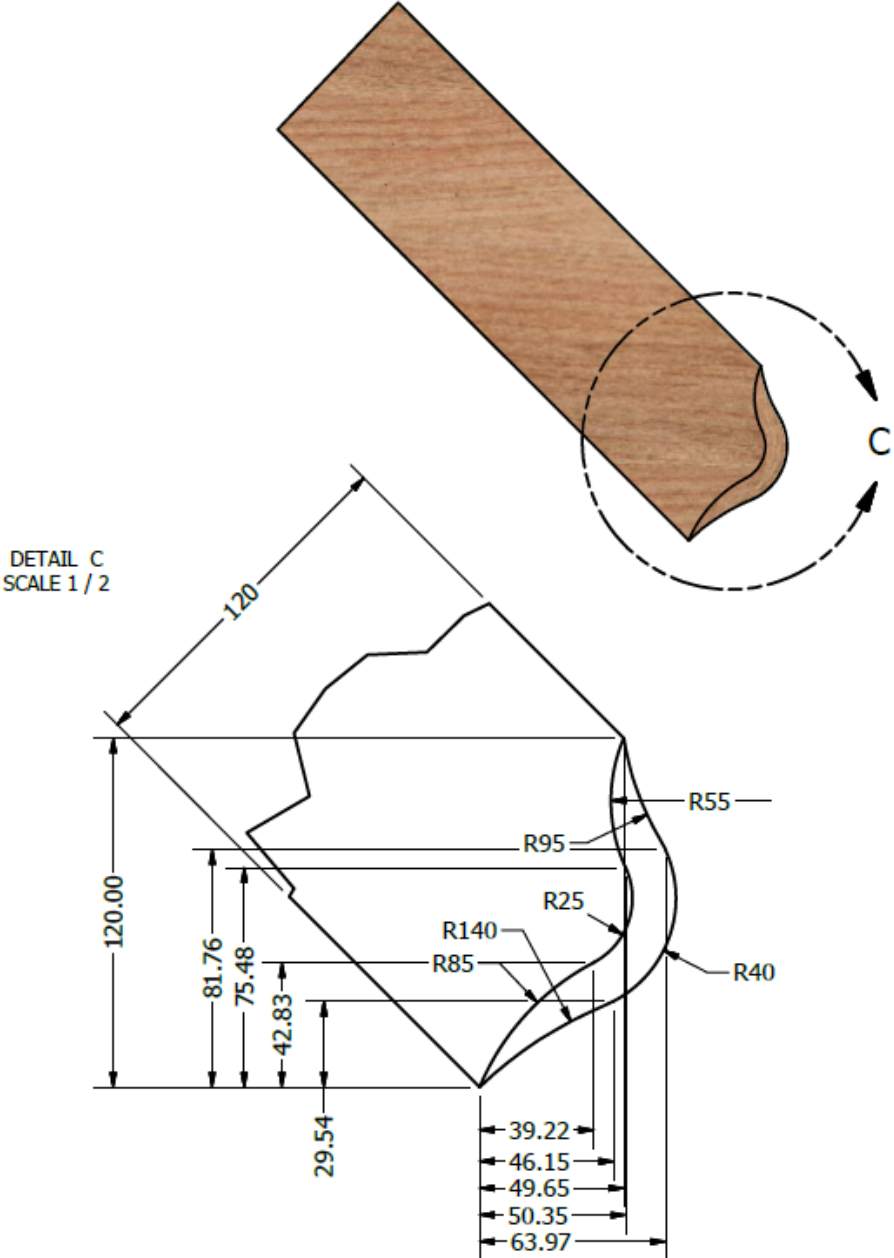


DETAIL A
SCALE 1.5 / 2

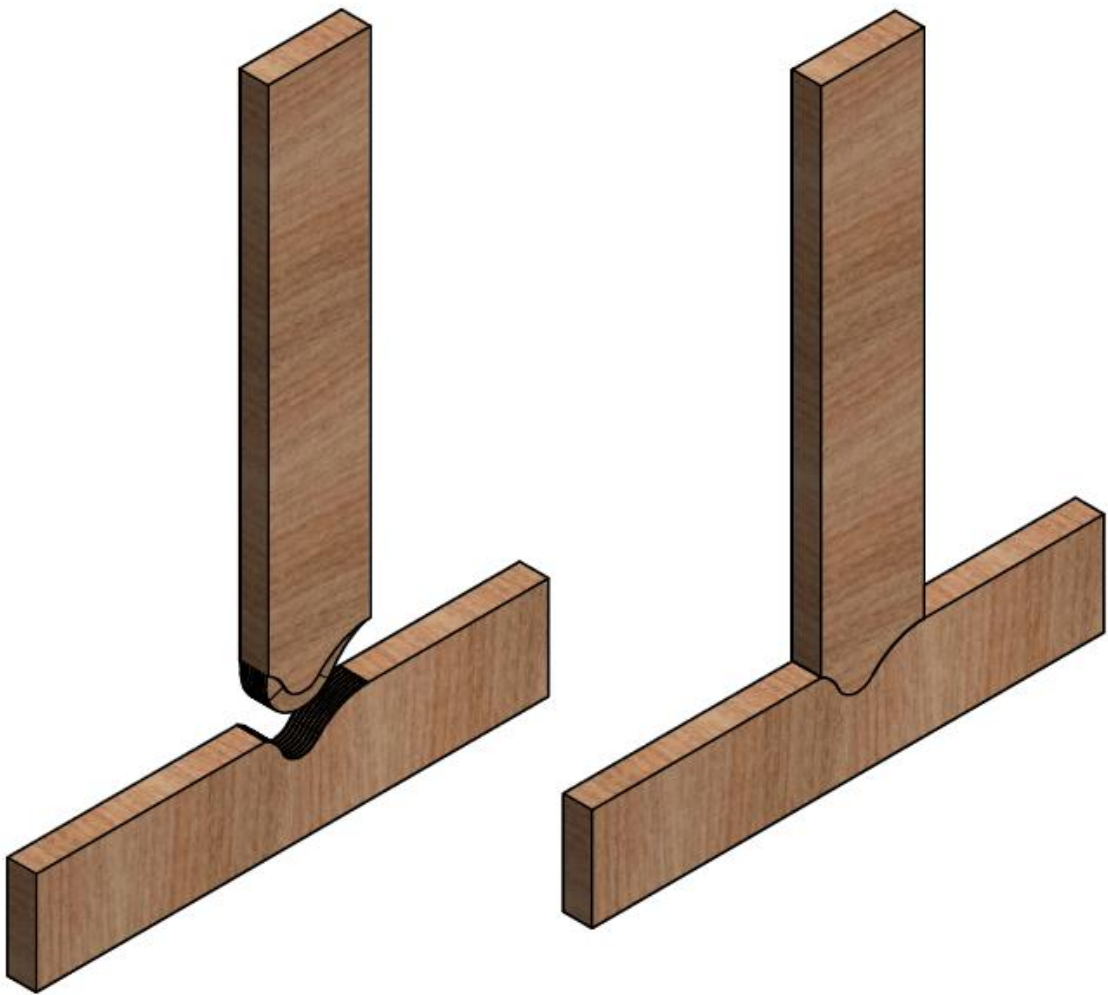
DRAWN		TITLE 45-asteen liitos			
Tomi Saarela	28.2.2013				
CHECKED					
QA					
MFG		SIZE A4			
APPROVED					
		DWG NO		REV	
		SCALE		SHEET 2 OF 4	



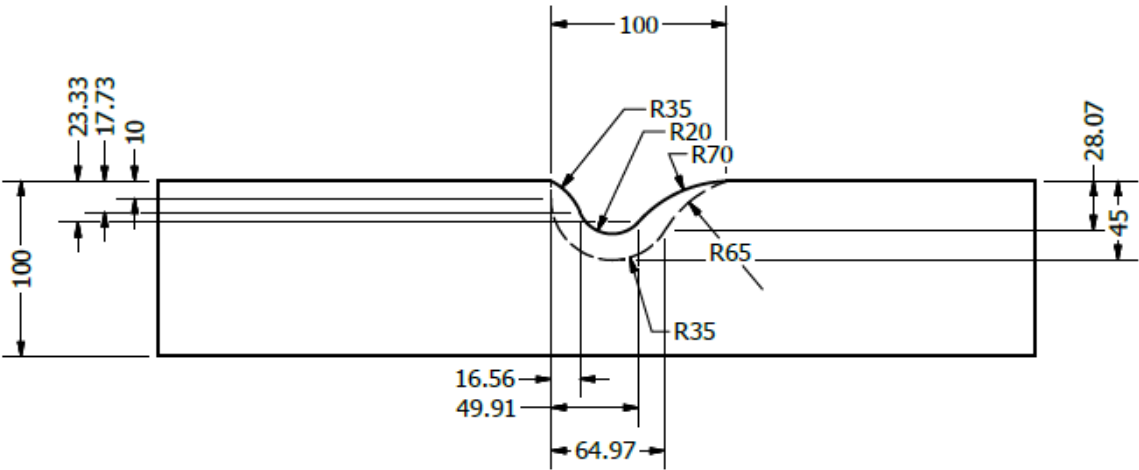
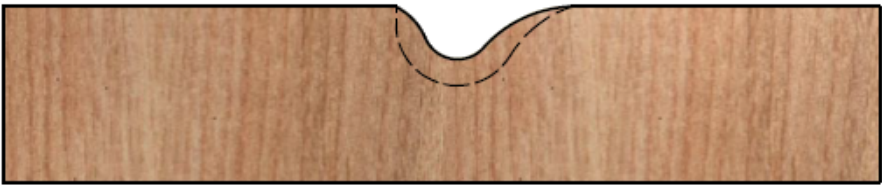
DRAWN	Tomi Saarela	28.2.2013	TITLE 45-asteen liitos			
CHECKED						
QA						
MFG						
APPROVED						
			SIZE	DWG NO		REV
			A4			
			SCALE			SHEET 3 OF 4



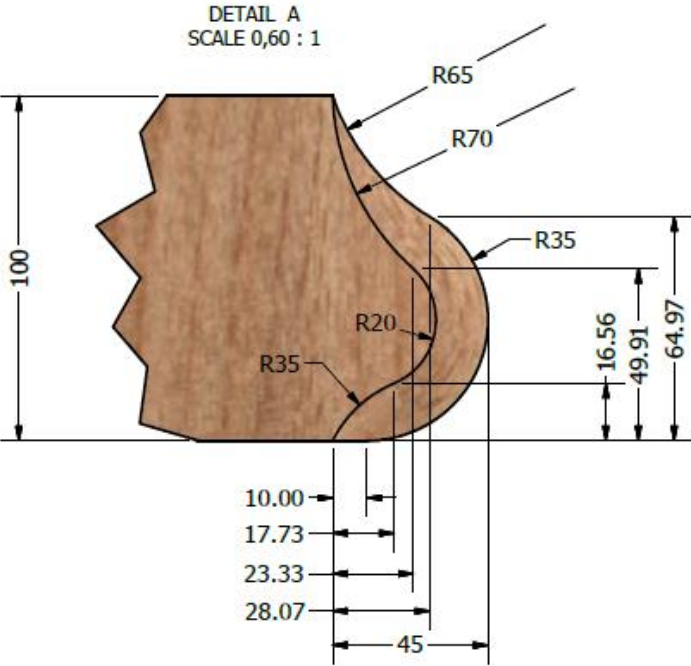
DRAWN		TITLE 45-asteen liitos		
Tomi Saarela	28.2.2013			
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE	DWG NO	REV
		A4		
		SCALE	SHEET 4 OF 4	



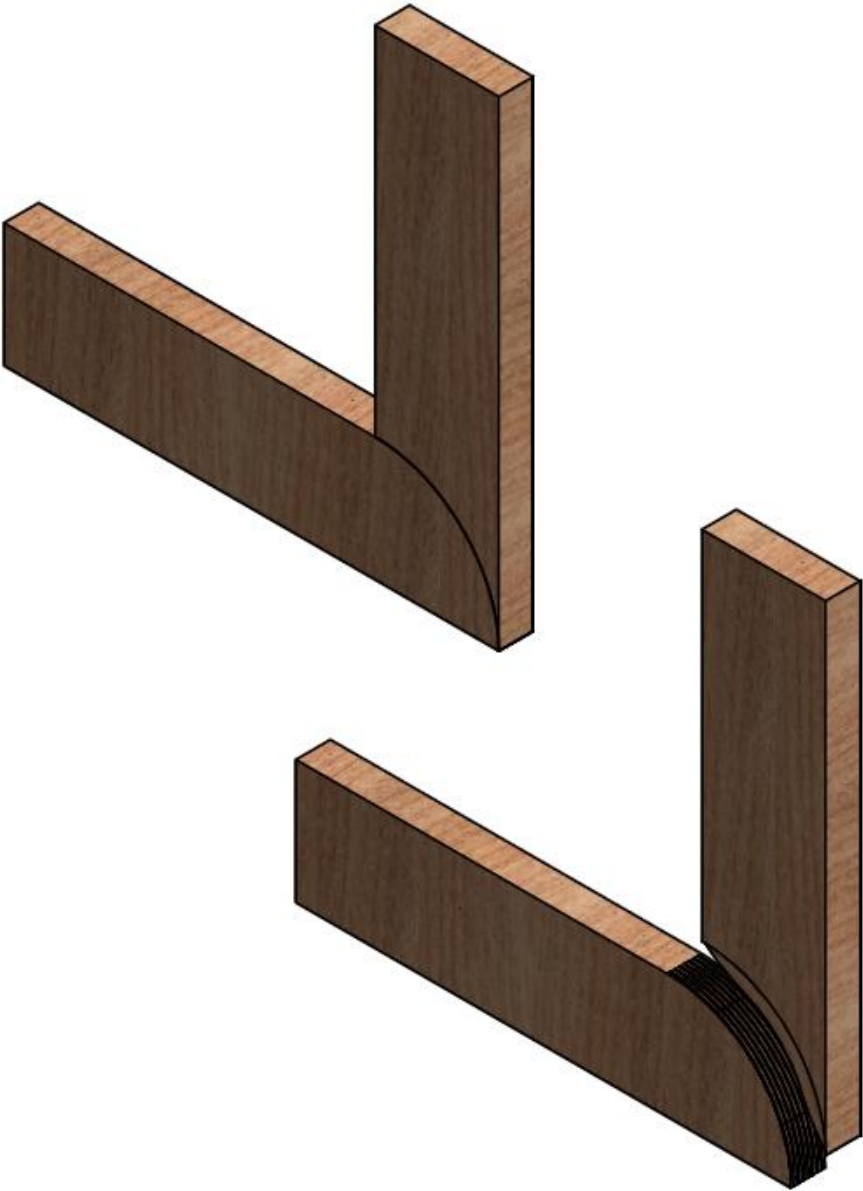
DRAWN Tomi	14.3.2013				
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED		TITLE			
		SIZE A4		DWG NO T-liitos	REV
		SCALE			SHEET 1 OF 3



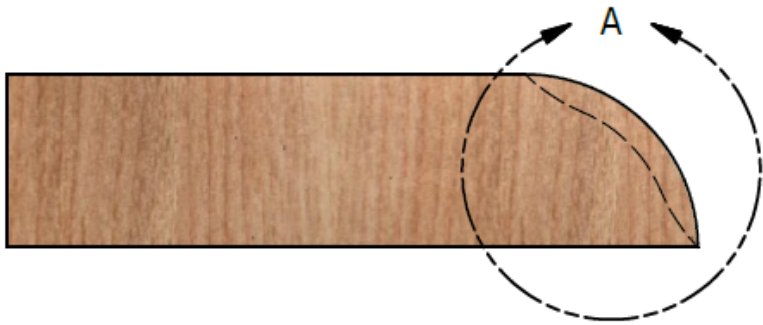
DRAWN	14.3.2013	TITLE			
Tomi					
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED		SIZE A4			
		SCALE		DWG NO T-liitos	REV
				SHEET 2 OF 3	



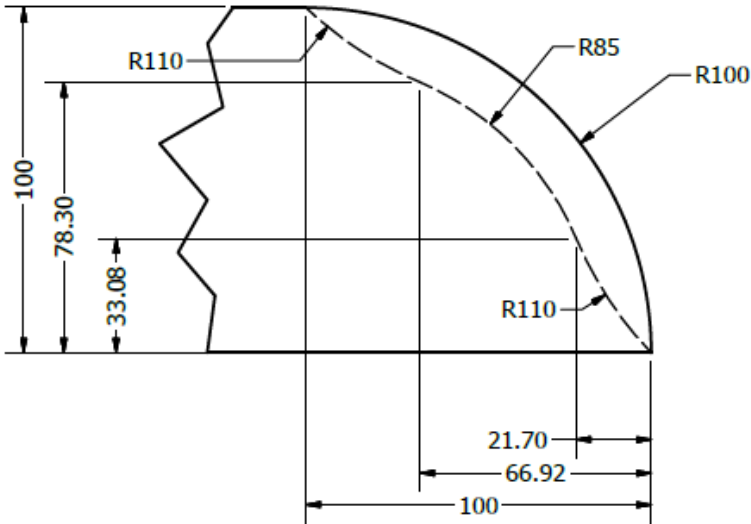
DRAWN	14.3.2013	TITLE		
Tommi				
CHECKED				
QA				
MFG		DWG NO		
APPROVED				
		SIZE	T-liitos	
		A4		
		SCALE	SHEET 3 OF 3	



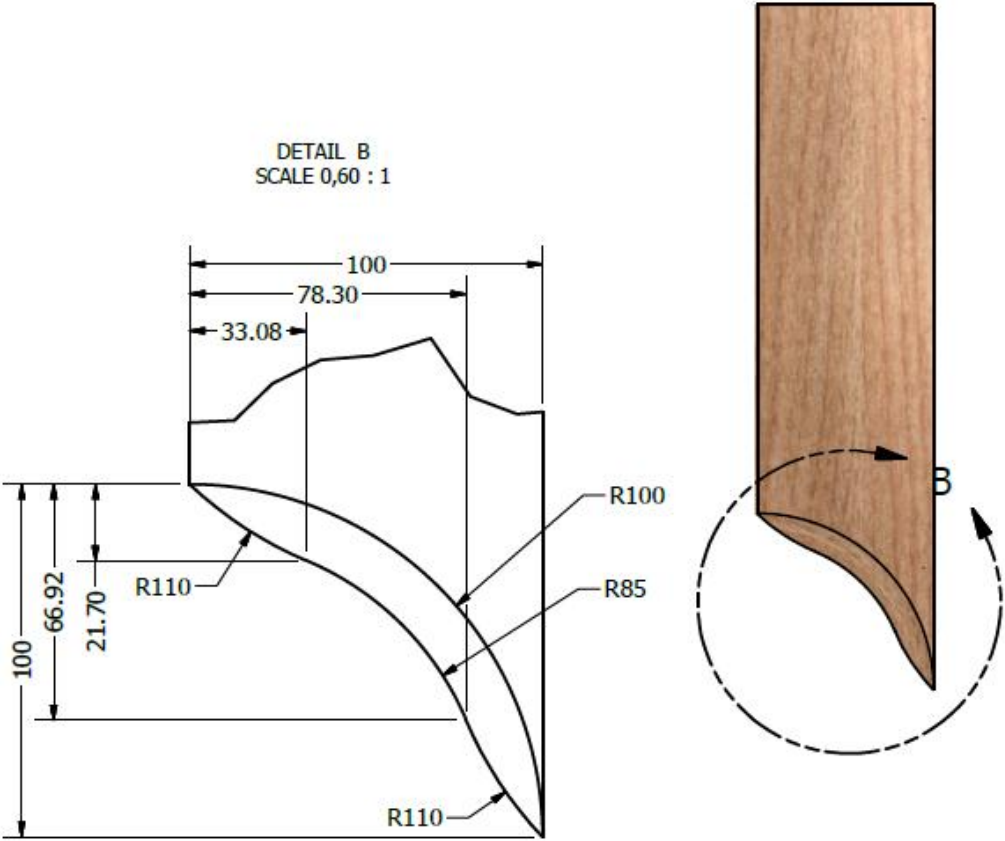
DRAWN Tomi	15.3.2013	TITLE		
CHECKED				
QA				
MFG				
APPROVED		SIZE A4	DWG NO T-liitos2	REV
		SCALE	SHEET 1 OF 3	



DETAIL A
SCALE 0,60 : 1

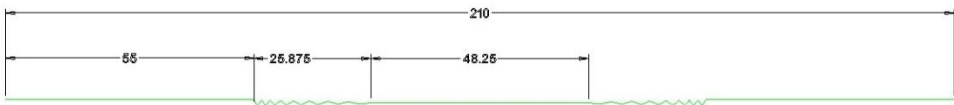


DRAWN Tomi	15.3.2013				
CHECKED					
QA					
MFG					
APPROVED		TITLE			
		SIZE A4		DWG NO T-liitos2	REV
		SCALE			SHEET 2 OF 3

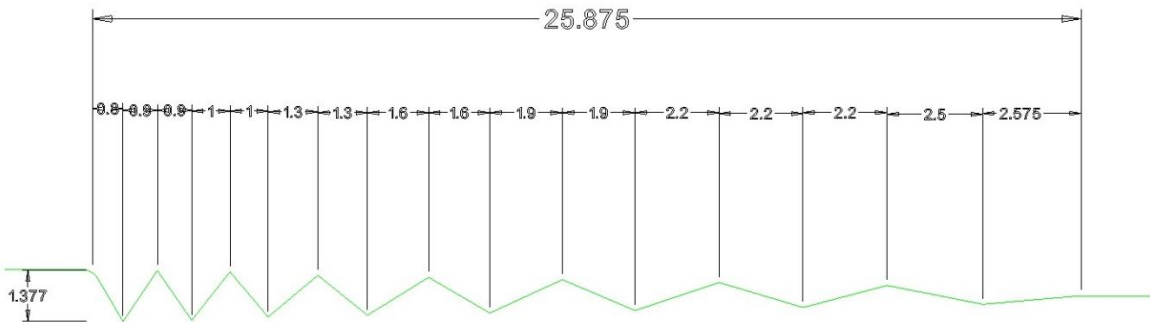


DRAWN	15.3.2013	TITLE			
Tomi					
CHECKED					
QA					
MFG		SIZE			
APPROVED					
		A4	DWG NO	T-liitos2	REV
		SCALE			SHEET 3 OF 3

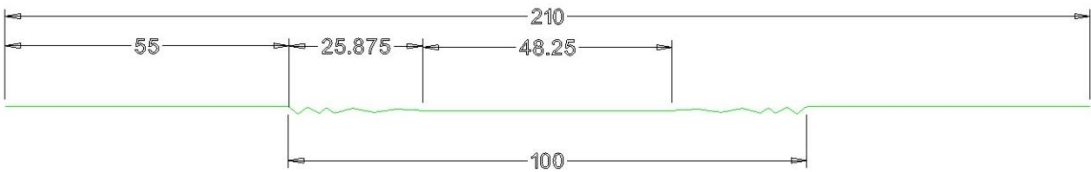
Ensimmäinen työstörata



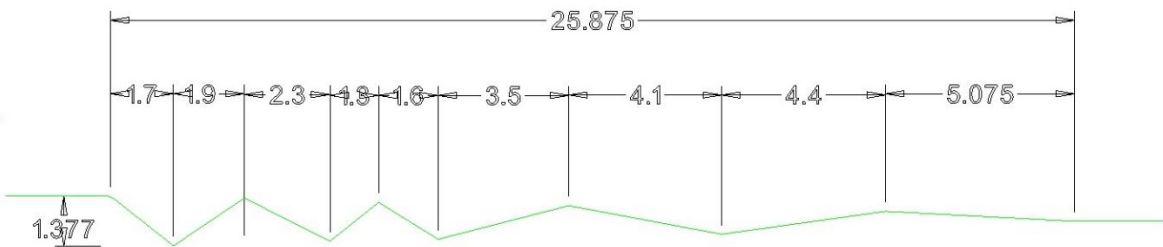
Ylös/alas liike



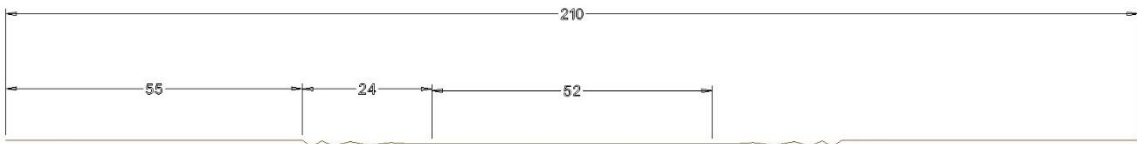
Toinen työstörata



Ylös/alas -liike



Kolmas työstörata



Ylös/Alas -liike

